


การควบคุมผลตอบสนองของอาคารเหล็กด้วยตัวหน่วง

RESPONSE CONTROL ON STEEL BUILDINGS WITH DAMPERS



กฤษฎา ปั้นทิม
เชมเซตต์ อินทร์ศวร
รัชชานนท์ ปาเจริญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESPONSE CONTROL ON STEEL BUILDINGS WITH DAMPERS



Kritsada Punthim

Kamkhet Insuan

Ratchanon Pacharoen

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การควบคุมผลตอบสนองของอาคารเหล็กด้วยตัวหน่วง
RESPONSE CONTROL ON STEEL BUILDINGS WITH DAMPERS

นักศึกษา นาย กฤษฎา บัณฑิต รหัสนักศึกษา 63015008
นาย เขมเขตต์ อินทร์สุวรรณ รหัสนักศึกษา 63015019
นาย รัชชานนท์ ปาเจริญ รหัสนักศึกษา 63015147

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ภาณุมาศ ไทรงาม

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อภิวุฒิ สุจริตพงศ์	
ผศ.ดร.อำพน จรัสรุ่งเกียรติ	
ผศ.ดร.ณัฐดนัย สีนสมทรผดุง	
ดร.ภาณุมาศ ไทรงาม	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.ดร.ชลิตา อุตะเภา)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมผลตอบสนองของอาคารเหล็กด้วยตัวหน่วง

นาย กฤษฏา	ปั้นทิม	รหัสนักศึกษา 63015008
นาย เขมเขตต์	อินทร์สุวรรณ	รหัสนักศึกษา 63015019
นาย รัชชานนท์	ปาเจริญ	รหัสนักศึกษา 63015147

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ภาณุมาศ ไทรงาม

ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

ในอดีตประเทศไทยไม่ได้คำนึงถึงการออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหว แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ในปี 2557 ที่จังหวัดเชียงราย ส่งผลให้อาคารเกิดความเสียหายหลายแห่ง ทำให้ภาครัฐเห็นถึงความสำคัญสำหรับการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวเพื่อความปลอดภัยของประชาชนมากยิ่งขึ้น ในปีพ.ศ. 2564 ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องการออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวทำให้อาคารในหลายพื้นที่มีความต้องการ การออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวมากขึ้น

งานวิจัยเรื่องนี้ทำการศึกษาการควบคุมผลตอบสนองของอาคารเหล็กด้วยตัวหน่วงโดยใช้อาคารโครงสร้างเหล็กสูง 7 ชั้นเป็นตัวอย่างสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ และทำการติดตั้งตัวหน่วงแรงเสียดทาน (Friction damper) เข้าในอาคารตัวอย่างทั้งหมด 7 กรณี โดยเลือกสถานที่ตามความเป็นไปได้ของการติดตั้ง และเลือกติดตั้งในบริเวณที่ทำให้เกิดแรงบิดต่ออาคารได้น้อย จากการศึกษาพบว่าการติดตั้งตัวหน่วงแรงเสียดทาน (Friction damper) บริเวณรอบนอกของอาคารทำให้ค่าการเคลื่อนตัว (displacement) ของอาคารลดมากที่สุด เมื่อเทียบกับกรณีศึกษากรณีอื่นๆ

RESPONSE CONTROL ON STEEL BUILDINGS WITH DAMPERS

Kritsada Punthim student id 63015008

Kamkhet Insuan student id 63015019

Ratchanon Pacharoen student id 63015147

Advisor: Dr. Panumas Saingam

Academic Year 2022

ABSTRACT

In the past, Thailand did not take into account the design of earthquake resistant structures. When the great earthquake in 2014 in Chiang Rai, many buildings were damaged. This affects the government realize the importance of designing earthquake resistant buildings for the safety of the public. The calculation of the building structure to withstand the vibration of the earthquake causes buildings in many areas to have demands. Designing more earthquake-resistant buildings

In this research, the response control of steel buildings by dampers was investigated. A 7-story steel structure building was used as an example for this study. A total of 7 cases of friction dampers were installed in the example buildings by selecting locations according to the possibility of installation. In addition, the damper locations were chosen to install in the area that causes less torsion to the building. This study found that the installation of the friction damper on the perimeter of the building caused the displacement value (displacement) of the building is reduced the most compared to other case studies

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร.ภาณุมาศ ไทรงามที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องคอยแนะนำช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดีพวกเราผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความ อนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่างๆ ได้ถ่ายทอดความรู้ ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่างๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิต ได้อย่างดียิ่ง ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำ โครงการ รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาโยธาจนตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการ สนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอดทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง ในพระคุณเป็นอย่างสูง

นาย กฤษณา

ปิ่นทิม

นาย เขมเขตต์

อินทร์ศร

นาย รัชชานนท์

ปาเจริญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตโครงการพิเศษ.....	1
1.4 ขั้นตอนดำเนินการ.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	3
2.1 ประวัติการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย.....	3
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับโครงสร้างต้านแรงแผ่นดินไหว.....	4
2.2.1 ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว.....	4
2.2.2 พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพมหานคร.....	4
2.2.3 ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร.....	6
2.2.4 การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัด.....	7
2.2.5 การเคลื่อนที่ตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นและการโก่งตัวของโครงสร้าง.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3 การเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวด้วยตัวหน่วงแบบแรงเสียดทาน.....	13
2.3.1 ส่วนประกอบและพฤติกรรมของตัวหน่วงแบบแรงเสียดทาน.....	13
2.3.2 การออกแบบตัวหน่วงแรงเสียดทาน.....	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ.....	21
3.1 รูปแบบการวิจัยหรือแผนการวิจัย.....	21
3.2 การรวบรวมข้อมูล.....	21
3.3 เครื่องมือวิจัย.....	21
3.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	21
3.5 การสร้างแบบจำลองอาคาร.....	22
3.5.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม ETABS.....	22
3.5.2 การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสถิตเทียบเท่า.....	28
3.6 การเสริมกำลังของโครงสร้าง.....	31
3.6.1 วิธีการออกแบบFD (Friction dampers).....	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	38
4.1 ผลที่ได้จากการออกแบบ.....	38
4.2 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์.....	38
4.2.1 ผลของการเคลื่อนตัวของอาคาร (Story displacement).....	38
4.2.2 ผลของอัตราส่วนของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story drift ratio).....	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	56
เอกสารอ้างอิงรูปภาพ.....	57
ภาคผนวก ก.....	58
ประวัติผู้เขียน.....	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
ตารางที่ 2.1 ตารางค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบด้วยวิธีพลศาสตร์.....	5
ตารางที่ 2.2 การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคารและค่าประกอบความสำคัญของอาคาร.....	6
ตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนองและตัวประกอบกำลังส่วนเกินและตัวประกอบค่าโก่งตัว.....	8
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงจำนวน FD ที่ได้จากการออกแบบและค่าสติเฟนของ FD.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การแบ่งโซนพื้นที่แอ่งกรุงเทพเพื่อการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว.....	5
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของตัวทวนวงแบบแรงเสียดทาน.....	13
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูป (force-deformation curve).....	13
รูปที่ 2.4 Assumed Hysteresis loop of RC frame.....	14
รูปที่ 2.5 Conversion of SDOF model.....	15
รูปที่ 2.6 Max Story Drift Angle Residual story drift angle.....	20
รูปที่ 2.7 Residual Story Drift Angle.....	20
รูปที่ 3.1 วางแนว Grid line และจำนวนชั้นของแบบจำลอง.....	22
รูปที่ 3.2 กำหนดคุณสมบัติของเหล็ก.....	23
รูปที่ 3.3 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติเสา.....	23
รูปที่ 3.4 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติคาน.....	24
รูปที่ 3.5 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติผนังรับแรงเฉือน.....	24
รูปที่ 3.6 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของแผ่นพื้น Post-Tension.....	25
รูปที่ 3.7 แปลนแบบจำลองของโครงสร้าง เสา ผนังรับแรงเฉือนและพื้นชั้นที่ 2.....	25
รูปที่ 3.8 กำหนดจุดรองรับของแบบจำลองเป็นแบบยึดหมุน.....	26
รูปที่ 3.9 กำหนดน้ำหนักบรรทุกทุก (DL) เท่ากับ 400 กิโลกรัมต่อตารางเมตร(LL) เท่ากับ 350 กิโลกรัมต่อตารางเมตร.....	26
รูปที่ 3.10 กำหนด D1 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid Diaphragm).....	27
รูปที่ 3.11 กำหนดค่าน้ำหนักสุทธิ (Mass Source).....	27
รูปที่ 3.12 กำหนดรูปแบบการสั่นพื้นฐานของอาคาร.....	28
รูปที่ 3.13 กำหนดกรณีและลักษณะของแรงแผ่นดินไหว.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.14 ใส่ค่าแรงที่กระทำด้าน Y ในแต่ละชั้น.....	30
รูปที่ 3.15 ใส่ค่าแรงที่กระทำด้าน X ในแต่ละชั้น.....	30
รูปที่ 3.16 กำหนดค่า Stiffness ประสิทธิภาพของผนังรับแรงเฉือน.....	31
รูปที่ 3.17 กำหนด Link Properties สำหรับ FD.....	34
รูปที่ 3.18 กำหนด Link Property DATA สำหรับ FD แต่ละชั้น.....	34
รูปที่ 3.19 กำหนด Link Directional Properties สำหรับ FD.....	35
รูปที่ 3.20 แบบสามมิติของแบบจำลองโครงสร้างหลังเสริม FD ด้านที่ 1.....	35
รูปที่ 3.21 แบบสามมิติของแบบจำลองโครงสร้างหลังเสริม FD ด้านที่ 2.....	36
รูปที่ 3.22 แบบสามมิติของแบบจำลองโครงสร้างหลังเสริม FD ด้านที่ 3.....	36
รูปที่ 3.23 แบบสามมิติของแบบจำลองโครงสร้างหลังเสริม FD ด้านที่ 4.....	37
รูปที่ 4.1 Case1เสริมFriction dampersทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบนอกของอาคารโครงสร้าง เหล็ก.....	39
รูปที่ 4.2 Case2เสริมFriction dampersทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบภายในของอาคารโครงสร้าง เหล็ก.....	39
รูปที่ 4.3 Case3เสริมFriction dampersทั้งแกน X และ Y โดยเสริมบริเวณ shear wallของอาคารโครงสร้าง เหล็ก.....	40
รูปที่ 4.4 Case4 เสริมFriction dampers เฉพาะ แกน X โดยเสริมบริเวณ shear wallของอาคารโครงสร้าง เหล็ก.....	40
รูปที่ 4.5 Case5 เสริมFriction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมบริเวณ shear wallของอาคารโครงสร้าง เหล็ก.....	41
รูปที่ 4.6 Case6 เสริมFriction dampers เฉพาะแกน X โดยเสริมรอบนอกของอาคารโครงสร้างเหล็ก.....	41
รูปที่ 4.7 Case7 เสริมFriction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมรอบนอกของอาคารโครงสร้างเหล็ก	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและการเคลื่อนตัวสูงสุดในแกน x ของอาคารหลังเสริมกำลังทั้ง 7 กรณี.....	42
รูปที่ 4.9 Case1 เสริมFriction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบนอกของอาคารโครงสร้างเหล็ก.....	43
รูปที่ 4.10 Case2 เสริมFriction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบภายในของอาคารโครงสร้างเหล็ก.....	43
รูปที่ 4.11 Case3 เสริมFriction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมบริเวณ shear wallของอาคารโครงสร้างเหล็ก.....	44
รูปที่ 4.12 Case4 เสริมFriction dampers เฉพาะ แกน X โดยเสริมบริเวณ shear wallของอาคารโครงสร้างเหล็ก.....	44
รูปที่ 4.13 Case5 เสริมFriction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมบริเวณ shear wallของอาคารโครงสร้างเหล็ก.....	45
รูปที่ 4.14 Case6 เสริมFriction dampers เฉพาะแกน X โดยเสริมรอบนอกของอาคารโครงสร้างเหล็ก.....	45
รูปที่ 4.15 Case7 เสริมFriction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมรอบนอกของอาคารโครงสร้างเหล็ก.....	46
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและการเคลื่อนตัวสูงสุดในแกน y ของอาคารหลังเสริมกำลังทั้ง 7 กรณี.....	46
รูปที่ 4.17 Case1 เสริมFriction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบนอกของอาคารโครงสร้างเหล็ก.....	47
รูปที่ 4.18 Case2 เสริมFriction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบภายในของอาคารโครงสร้างเหล็ก.....	47
รูปที่ 4.19 Case3 เสริมFriction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมบริเวณ shear wallของอาคารโครงสร้างเหล็ก.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.20 Case4 เสริมFriction dampers เฉพาะ แกน X โดยเสริมบริเวณ shear wallของอาคาร โครงสร้างเหล็ก.....	48
รูปที่ 4.21 Case5 เสริมFriction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมบริเวณ shear wallของอาคารโครงสร้าง เหล็ก.....	49
รูปที่ 4.22 Case6 เสริมFriction dampers เฉพาะแกน X โดยเสริมรอบนอกของอาคารโครงสร้างเหล็ก	49
รูปที่ 4.23 Case7 เสริมFriction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมรอบนอกของอาคารโครงสร้างเหล็ก	50
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและอัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นในแกน X หลัง เสริมกำลัง แบบที่ 1 ถึง 7.....	50
รูปที่ 4.25 Case1 เสริมFriction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบนอกของอาคารโครงสร้างเหล็ก	51
รูปที่ 4.26 Case2 เสริมFriction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบภายในของอาคารโครงสร้างเหล็ก	51
รูปที่ 4.27 Case3 เสริมFriction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมบริเวณ shear wallของอาคาร โครงสร้างเหล็ก.....	52
รูปที่ 4.28 Case4 เสริมFriction dampers เฉพาะ แกน X โดยเสริมบริเวณ shear wallของอาคาร โครงสร้างเหล็ก.....	52
รูปที่ 4.29 Case5 เสริมFriction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมบริเวณ shear wallของอาคารโครงสร้าง เหล็ก.....	53
รูปที่ 4.30 Case6 เสริมFriction dampers เฉพาะแกน X โดยเสริมรอบนอกของอาคารโครงสร้างเหล็ก	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.31 Case7 เสริมFriction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมรอบนอกของอาคารโครงสร้างเหล็ก	54
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและอัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นในแกน Y หลังเสริมกำลัง แบบที่ 1 ถึง 7	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมา

ในอดีตประเทศไทยไม่ได้คำนึงถึงการออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหว เมื่อแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ในปี 2557 ที่จังหวัดเชียงราย ส่งผลให้อาคารเกิดความเสียหายหลายแห่ง ทำให้ภาครัฐเห็นถึงความสำคัญสำหรับการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวเพื่อความปลอดภัยของประชาชนมากยิ่งขึ้น ในปี พ.ศ. 2564 ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวทำให้อาคารในหลายพื้นที่ที่มีความต้องการ การออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวมากขึ้น

งานวิจัยเรื่องนี้ทำการศึกษาการควบคุมผลตอบสนองของอาคารเหล็กด้วยตัวหน่วง โดยใช้อาคารโครงสร้างเหล็กสูง 7 ชั้นเป็นตัวอย่างสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ และทำการติดตั้งตัวหน่วงแรงเสียดทาน (Friction damper) เข้าในอาคารตัวอย่างทั้งหมด 7 กรณี โดยเลือกสถานที่ตามความเป็นไปได้ของการติดตั้ง และเลือกติดตั้งในบริเวณที่ทำให้เกิดแรงบิดต่ออาคารได้น้อย

1.2. วัตถุประสงค์

1.2.1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมการตอบสนอง เพื่อปรับปรุงการต้านทานแรงแผ่นดินไหวสำหรับอาคารเหล็กที่มีตัวหน่วงแรงเสียดทาน

1.2.2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของอาคารเหล็กเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีตัวหน่วงแรงเสียดทานกับอาคารโครงสร้างเหล็กที่มีตัวหน่วงแรงเสียดทาน

1.2.3. เพื่อศึกษาหาตำแหน่งการติดตั้งตัวหน่วงแรงเสียดทาน (Friction dampers) ที่เหมาะสมของอาคารโครงสร้างเหล็ก 7 ชั้น จากโปรแกรมจำลอง ETABS

1.3. ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1.3.1. ศึกษาแบบจำลองอาคารโครงสร้างเหล็กสูง 7 ชั้น ด้วยโปรแกรม ETABS เท่านั้น

1.3.2. เสนอการติดตั้งเพื่อเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวของอาคารเหล็กที่เป็นอาคารสูงขนาดกลางด้วยตัวหน่วง

1.3.3. ตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอโดยใช้การวิเคราะห์ประวัติการตอบสนองแบบการเคลื่อนตัวของแต่ละชั้นสูงสุดโดยการสถิตเทียบเท่า Equivalent linear static โดยการเปรียบเทียบอาคารที่ศึกษาก่อนและหลังการติดตั้งตัวหน่วงแรงเสียดทาน

1.3.4. ศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมการเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคาร (Lateral Displacement) และการเคลื่อนตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้น (Inter-story Drift)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

NO.	Task Name	Duration (สัปดาห์)	2022					2023				
			AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY
1	ศึกษาวิธีการเสริมกำลังด้านแรง แผ่นดินไหว	5	■									
2	หาข้อมูลของอาคารที่นำมา ศึกษา	5		■								
3	สร้างแบบจำลองอาคารโครง สร้างเหล็กโดยโปรแกรม ETABS	9			■	■	■					
4	วิเคราะห์โครงสร้างอาคาร	15					■	■	■	■	■	
5	นำแบบจำลองอาคารมาเสริม กำลังด้านแรงแผ่นดินไหว	13						■	■	■	■	■
6	สรุปผลการศึกษา	2										■

1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1. ได้ทราบวิธีการคำนวณปริมาณของตัวหน่วง สำหรับการเสริมกำลังด้านแรงแผ่นดินไหวของอาคารเหล็กที่เป็นอาคารสูงขนาดกลาง

1.5.2. ได้ทราบวิธีการออกแบบมาตรฐานการออกแบบเหล็กโครงสร้างรูปพรรณเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนด มยพ. 1304-61

1.5.3. ได้ทราบวิธีการตรวจสอบประสิทธิภาพแผ่นดินไหวก่อนและหลังเสริมกำลังด้านแรงแผ่นดินไหวของอาคารเหล็กที่ศึกษา โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สถิตเทียบเท่า Equivalent linear static ในโปรแกรม ETABS

1.5.4. เพื่อศึกษาหาตำแหน่งการติดตั้งตัวหน่วงแรงเสียดทาน (Friction dampers) ที่เหมาะสมของอาคารโครงสร้างเหล็ก 7 ชั้น จากโปรแกรมจำลอง ETABS

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. ประวัติการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย

แผ่นดินไหวเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของพื้นดิน อันเนื่องมาจากการปลดปล่อยพลังงานเพื่อลดความเครียดที่สะสมไว้ภายในโลกออกมาเพื่อปรับสมดุลของเปลือกโลกให้คงที่ ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ยังไม่สามารถทำนายเวลา สถานที่และความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

ประเทศไทยไม่อาจจัดอยู่ในเขตที่ปลอดภัยจากแผ่นดินไหวได้เนื่องจากหลักฐานการบันทึก ประวัติศาสตร์ (Historical Earthquake Data) จดหมายเหตุศิลาจารึกและพงศาวดารได้ระบุว่า ประเทศไทยเคยได้รับแผ่นดินไหวขนาดปานกลางจนถึงขนาดใหญ่มาแล้วหลายครั้งและยังสร้างความเสียหายให้กับพื้นที่ในหลายภูมิภาคของประเทศโดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันตกมี แผ่นดินไหวครั้งสำคัญเมื่อ 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2478 ตรวจพบมีจุดเหนือศูนย์กลางอยู่ที่จังหวัดน่านมี ขนาดถึง 6.5 ตามมาตราริกเตอร์แผ่นดินไหวเข้าสู่ของวันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2526 บริเวณ เขื่อนวชิราลงกรณ์ จังหวัดกาญจนบุรี มีขนาด 5.9 ตามมาตรา ริกเตอร์รู้สึกได้ทั่วทั้งภาคกลางและภาคเหนือ อาคารในกรุงเทพมหานครเสียหายเล็กน้อย และแผ่นดินไหวเกิดที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย เมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ.2537 มีขนาด 5.1 ตามมาตราริกเตอร์ก่อให้เกิดความเสียหาย ต่อโรงพยาบาลอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย นอกจากนี้ยังมีแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นแล้วมีจุดเหนือศูนย์กลางเกิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณประเทศเพื่อนบ้านแล้วมีผลสะเทือนมาสู่ประเทศไทย โดยเฉพาะบริเวณ ภาคตะวันตกและภาคเหนือ ข้อมูลที่ได้การเกิดแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้(Instrumental Earthquake Data) โดยกรมอุตุนิยมวิทยา ทำให้ทราบว่า จุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหว (Epicenter) มี การกระจายตัวในแถบพรมแดน ไทย-สหภาพพม่า ไทย-ลาว,จีน-สหภาพพม่าหรือในทะเลอันดามันซึ่ง ยังสามารถตรวจวัดได้เป็นประจำจึงแสดงให้เห็นชัดว่าเปลือกโลกในบริเวณแถบดังกล่าวยังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่

ประเทศไทยได้มีมาตรการเตรียมพร้อมที่มีประสิทธิภาพสุดมาตรการหนึ่ง คือการออกแบบก่อสร้างอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวที่รุนแรงได้ด้วยเหตุนี้ในปีพ.ศ. 2540 จึงได้ มีการออกกฎกระทรวงฉบับที่ 49 ภายใต้พ.ร.บ. ควบคุมอาคารฯ มากำหนดให้มีการออกแบบอาคาร ต้านทานแผ่นดินไหวในพื้นที่จังหวัดภาคเหนือ และจังหวัดกาญจนบุรีซึ่งในเวลาต่อมากฎกระทรวง ดังกล่าวได้ถูกแทนที่โดยกฎกระทรวงโดยกฎกระทรวง พ.ศ. 2550 ซึ่งปรับปรุงขยายพื้นที่ควบคุมให้ ครอบคลุมถึงกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลและจังหวัดในภาคใต้

ในปัจจุบันได้มีประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยที่เป็นการสมควรกำหนดหลักเกณฑ์การออกแบบและคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคารต้านแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่เป็นรายละเอียดด้านเทคนิคและหลักวิชาการด้านแผ่นดินไหวที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เพื่อให้การก่อสร้างและตัดแปลงอาคารในบริเวณเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวมีความปลอดภัย

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๘ วรยศสอง แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๔๓ ประกอบข้อ ๖ แห่งกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. ๒๕๖๔ ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๕) พ.ศ. ๒๕๕๘ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคาร ออกประกาศไว้

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว

มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยพ.1304-61 ของกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย

2.2.1. ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว

เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวอาคารต่าง ๆ จะมีการตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือ คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร และปัจจัยประกอบอื่น ๆ ดังนั้น ผลตอบสนองของอาคารจึงแสดงในรูปของ “ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม” ซึ่งมีค่าแปร เปลี่ยนไปตามคาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร ซึ่งในกรณีของพื้นที่แอ่งกรุงเทพมหานคร ผลตอบสนอง ของอาคารได้ถูก แสดงในรูปของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ซึ่งได้รวมผล เนื่องจากสภาพดินอ่อนในพื้นที่นี้เข้าไปแล้ว

2.2.2. พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพมหานคร

พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพครอบคลุมกรุงเทพมหานครและจังหวัดปริมณฑลหลายจังหวัด พื้นที่นี้ ได้ถูกแบ่งย่อยเป็น 7 โซน ดังรูปที่ 2.1 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ในพื้นที่ 7 โซนนี้ ขึ้นกับวิธีการออกแบบดังนี้ สำหรับการออกแบบด้วยวิธีพลศาสตร์ ให้ใช้สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบที่กำหนดตามค่าที่แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีพลศาสตร์ สำหรับพื้นที่ในโซนต่าง ๆ ของพื้นที่ในแ่งกรุงเทพฯ หน่วยเป็น กรัม (g)

โซน	$S_d(0.1 s)$	$S_d(0.2 s)$	$S_d(1 s)$	$S_d(2 s)$	$S_d(3 s)$	$S_d(4 s)$	$S_d(5 s)$	$S_d(6 s)$
1	0.154	0.297	0.284	0.174	0.083	0.062	0.050	0.041
2	0.116	0.199	0.274	0.205	0.107	0.080	0.064	0.054
3	0.097	0.192	0.198	0.154	0.071	0.053	0.043	0.036
4	0.089	0.154	0.211	0.170	0.077	0.058	0.046	0.039
5	0.079	0.126	0.158	0.174	0.078	0.058	0.047	0.039
6	0.062	0.113	0.144	0.149	0.067	0.050	0.040	0.034
7	0.111	0.217	0.147	0.149	0.068	0.051	0.041	0.034



รูปที่ 2.1 การแบ่งโซนพื้นที่แ่งกรุงเทพฯเพื่อการออกแบบอาคารด้านทานแผ่นดินไหว (มยพ.1303-57,กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2557) [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3. ตัวประกอบความสำคัญและประเภทของอาคาร

อาคารได้ถูกจำแนกตามลักษณะการใช้งาน และความสำคัญของอาคารที่มีต่อสาธารณชนและการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุออกเป็น 4 ประเภท (Occupancy Category) คือ ประเภท I, II, III, และ IV โดยอาคารแต่ละประเภทมีค่าตัวประกอบความสำคัญ (Importance Factor) เพื่อใช้ในการ ออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจำแนกประเภทความสำคัญของอาคารและค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ	ตัวประกอบความสำคัญ
(๑) อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อย เมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้น ๆ เช่น อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร อาคารชั่วคราว อาคารเก็บของเล็ก ๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ เป็นต้น	I (น้อย)	1.0
(๑) อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภทความสำคัญ I (น้อย) III (มาก) และ IV (สูงมาก)	II (ปกติ)	1.0
(๑) โรงมหรสพ หอประชุม ศาลากลาง สนามกีฬา อัฒจันทร์ สถานีขนส่งสถานบริการ หรือท่าจอดเรือ ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่หกร้อยตารางเมตรขึ้นไป (๒) หอศิลป์ พิพิธภัณฑ์สถาน หรือสถานศึกษา ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่หนึ่งพันตารางเมตรขึ้นไป (๓) หอสมุด ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่สองพันตารางเมตรขึ้นไป (๔) ตลาด ห้างสรรพสินค้า หรือศูนย์การค้า ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่หนึ่งพันห้าร้อยตารางเมตรขึ้นไป (๕) สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อน สถานให้บริการดูแลผู้สูงอายุ หรือสถานสงเคราะห์ผู้สูงอายุ ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่สามร้อยตารางเมตรขึ้นไป (๖) สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืนที่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ (๗) เรือนจำตามกฎหมายว่าด้วยราชทัณฑ์ (๘) อาคารที่ทำการของส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือหน่วยงานของรัฐ ที่จัดตั้งขึ้นตามกฎหมาย ที่มีพื้นที่สาธารณะตั้งแต่หนึ่งพันตารางเมตรขึ้นไป (๙) อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่ง ๆ ได้ตั้งแต่สามร้อยคนขึ้นไป (๑๐) อาคารประเภทอื่น ๆ ที่สามารถรองรับผู้มาใช้สอยอาคารได้ตั้งแต่ห้าพันคนขึ้นไป	III (มาก)	1.25
(๑) อาคารที่จำเป็นต้องการช่วยเหลือและบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว ได้แก่ สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืนที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ท่าอากาศยาน โรงไฟฟ้า หรือโรงผลิตและเก็บน้ำประปา (๒) คลังสินค้าที่ใช้เป็นสถานที่เก็บรักษาวัตถุอันตรายตามกฎหมายว่าด้วยวัตถุอันตราย ประเภทวัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ หรือวัตถุกัมมันตรังสี	IV (สูงมาก)	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4. การจำแนกระบบโครงสร้างและข้อจำกัด

ระบบต้านแรงด้านข้างและระบบรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้งของโครงสร้างอาคารอาจเป็นระบบใดระบบหนึ่งที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.3 หรือเป็นระบบผสมที่ได้จากการรวมระบบโครงสร้างหลายแบบ ระบบโครงสร้างที่สามารถเลือกใช้ได้จะขึ้นกับประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) และตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (System Over strength Factor, Ω_0) ของระบบ โครงสร้างแต่ละแบบให้เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบเหล่านี้จะนำไปใช้ในการ คำนวณหาค่าแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) แรงในองค์อาคาร เพื่อการออกแบบ (Element Design Force) และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้น (Story Drift) ระบบโครงสร้างที่ เลือกใช้จะต้องได้รับการออกแบบและกำหนดรายละเอียดของโครงสร้าง (Detailing) ให้เป็นไปตาม ข้อกำหนดในมาตรฐานอ้างอิงที่เกี่ยวข้องและข้อกำหนดเพิ่มเติมตามที่ระบุในมาตรฐานฉบับนี้

ในกรณีที่วิศวกรผู้ออกแบบต้องการเลือกใช้ระบบโครงสร้างแบบอื่นที่ไม่ได้มีระบุไว้ในตารางที่ 2.3 จะต้องดำเนินการพิสูจน์ด้วยการวิเคราะห์โครงสร้างและการทดสอบตัวอย่างโครงสร้างในห้องปฏิบัติการเพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบโครงสร้างนั้น ๆ มีพฤติกรรมเชิงพลศาสตร์ความสามารถในการต้านทานแรงทางด้านข้างและความสามารถในการสลายพลังงานเทียบเท่าระบบโครงสร้างแบบใดแบบหนึ่งในตารางที่ 2.3 ที่มีค่าตัวประกอบ R , และ C_d เท่าเทียมกันกับระบบที่เลือกใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Over strength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d)

ระบบโครงสร้าง โดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ		ประเภทการ ออกแบบ ด้านทานแรง แผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	ข	ค	ง
๑. ระบบกำแพงรับ น้ำหนักบรรทุก แนวตั้ง (Bearing Wall System)	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	๔	๒.๕	√	√	*
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	๕	๒.๕	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	๓	๒.๕	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้ รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall)	๔	๒.๕	√	√	X
๒.ระบบโครงสร้าง (Building Frame System)	โครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับ แรงดัดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	๘	๒	√	√	√
	โครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับ แรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non- Moment-Resisting Connections)	๗	๒	√	√	√
	โครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบให้รายละเอียด พิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	๖	๒	√	√	√
	โครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	๓.๕	๒	√	√	X
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	๖	๒.๕	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	๕	๒.๕	√	√	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Over strength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d) (ต่อ)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ		ประเภทการออกแบบด้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	ข	ค	ง
๒. ระบบโครงอาคาร (Building Frame System) (ต่อ)	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall)	๔	๒.๕	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall)	๕	๒.๕	√	√	X
๓. ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (Ductile/ Special Steel Moment-Resisting Frame)	๘	๓	√	√	√
	โครงถักต้านแรงดัดที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	๗	๓	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	๔.๕	๓	√	√	*
	โครงต้านแรงดัดเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	๓.๕	๓	√	√	X
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (แบบหล่อในที่ หรือ แบบหล่อสำเร็จ) (Precast or Cast-in-Place Ductile/ Special Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	๘	๓	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง	๕	๓	√	√	*
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	๓	๓	√	X	X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Over strength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d) (ต่อ)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ		ประเภทการออกแบบด้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	ข	ค	ง
๔. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ ๒๕ ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Ductile/Special Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	๗	๒.๕	√	√	√
	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบเอียงศูนย์ (Steel Eccentrically Braced Frame)	๘	๒.๕	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	๗	๒.๕	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	๖	๒.๕	√	√	*
๕. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัดที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ ๒๕ ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Moment Resisting Frame with Limited Ductility / Dual System with Intermediate Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกนเหล็กแบบตรงศูนย์แบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	๖	๒.๕	√	√	X
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	๖.๕	๒.๕	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	๕.๕	๒.๕	√	√	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response Modification Factor, R) ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System Over strength Factor, Ω_0) และ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection Amplification Factor, C_d) (ต่อ)

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ		ประเภทการออกแบบด้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	ข	ค	ง
๖. ระบบปฏิสัมพันธ์ (Shear Wall Frame Interactive System)	ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำแพงรับแรงเฉือนและโครงต้านแรงคดแบบธรรมดาที่ไม่มีการให้รายละเอียดความเหนียว (Shear Wall Frame Interactive System with Ordinary Reinforced Concrete Moment Frame and Ordinary Concrete Shear Wall)	๕.๕	๒.๕	√	X	X
๗. ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว (Steel Systems Not Specifically Detailed for Seismic Resistance)	ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว	๓	๓	√	√	X

หมายเหตุ ๑) √ = ใช้ได้ X = ห้ามใช้

2.2.5. การเคลื่อนที่ตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นและการโก่งตัวของโครงสร้าง

2.2.5.1. การเคลื่อนที่ตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้

การเคลื่อนที่ตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่เกิดจากแผ่นดินไหวสำหรับออกแบบ (Design Story Drift, Δ) ที่คำนวณได้จากวิธีแรงสถิตเทียบเท่าหรือวิธีพลศาสตร์จะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่ยอมให้ (Allowable Story Drift) ในกรณีอาคารมีการบิดตัวรอบแกนตั้งอย่างชัดเจน เมื่อถูกแรงแผ่นดินไหวกระทำการคำนวณค่าการเคลื่อนที่ตัวสัมพันธ์ระหว่างชั้นนี้ จะต้องรวมผลของการบิดตัวของไปด้วย

ในกรณีอาคารมีประเภทการออกแบบด้านทานแผ่นดินไหวแบบ ค หรือ ง และมีความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงโครงสร้างในแนวราบแบบ 1ก หรือ 1ข ค่า Δ จะเป็นค่าการเคลื่อนที่ตัวสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น ณ ขอบด้านใดด้านหนึ่งของอาคาร ณ ชั้นที่พิจารณาที่มีค่ามากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์อาคารของระบบโครงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีใช้ส่วนหนึ่งของระบบโครงสร้างต้านแรงแผ่นดินไหวจะต้องได้รับการออกแบบให้ปฏิบัติตามข้อกำหนด ของมาตรฐาน ACI1318

หมายเหตุ

1. H_{sx} คือความสูงระหว่างชั้นที่อยู่ใต้พื้นชั้นที่ x
2. อาคารชั้นเดียวที่มีผนังภายใน ฉากกันห้อง ฝ้าเพดาน และผนังภายนอกที่ถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นได้มาก จะมีการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเท่าใดก็ได้ไม่จำกัด แต่ยังคงต้องพิจารณาการเว้นระยะห่างระหว่างโครงสร้าง
3. โครงสร้างกำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนแบบยื่นจากฐานรองรับ หมายถึง อาคารที่ถูกออกแบบให้ ใช้กำแพงอิฐก่อรับแรงเฉือนเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างในแนวดิ่งซึ่งยื่นขึ้นมาจากฐานรองรับ และถูกก่อสร้างในลักษณะที่มีถ่ายโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนระหว่างกำแพงข้างเคียง (แบบ Coupling Beam) น้อยมาก

2.2.5.2. การเคลื่อนตัวของอาคารเมื่อรับแรงแผ่นดินไหว

ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือความสามารถในการรับแรงของอาคาร โดยที่อาคารนั้นจะต้องมีการเคลื่อนตัวไม่น้อยกว่าค่าที่ยอมให้มาตรฐาน มยผ.1302-52 ระบุว่าค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่แต่ละชั้นของอาคาร δ_x สามารถหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\delta_x = C_d \delta_{xe}/l \quad (2.1)$$

โดยที่ C_d คือ ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัวดังแสดงในตารางที่ 2.3

δ_{xe} คือ ค่าการเคลื่อนตัวที่จุดศูนย์กลางมวลที่ชั้น x เนื่องจากแรงสถิตย์ เทียบเท่าที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับระบบอิลาสติก

l คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร

2.3. การเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวด้วยตัวหน่วงแบบแรงเสียดทาน

2.3.1. ส่วนประกอบและพฤติกรรมของตัวหน่วงแบบแรงเสียดทาน

จากงานวิจัยเรื่อง Experimental dynamic characterization of friction brace dampers and application to the seismic retrofit of RC buildings ของ Panumas Saingam, Ryota Matsuzaki, Koki Nishikawa, Ben Sitler, Yuki Terazawa และ Toru Takeuchi

2.3.1.1. ส่วนประกอบของตัวหน่วงแบบแรงเสียดทาน

Friction damper (ตัวหน่วงแบบแรงเสียดทาน) เป็นวัสดุที่ประกอบด้วย

1. แผ่นเหล็กหลายแผ่นที่เลื่อนเข้าหากันในทิศทางตรงกันข้าม แผ่นเหล็กถูกคั่นด้วย
2. แผ่นซีมของวัสดุแผ่นแรงเสียดทาน

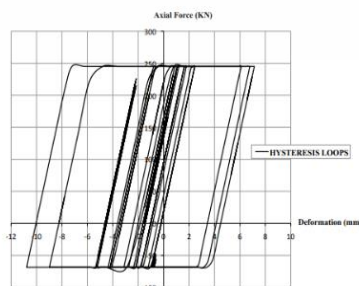
แดมเปอร์จะกระจายพลังงานโดยการเสียดสีระหว่างพื้นผิวที่เสียดสีกัน นอกจากนี้ยังสามารถผลิตพื้นผิวจากวัสดุอื่นที่ไม่ใช่เหล็กได้อีกด้วย



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของตัวหน่วงแบบแรงเสียดทาน [2]

2.3.1.2. พฤติกรรมของตัวหน่วงแบบแรงเสียดทาน

พลังงานจลน์ของชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวยจะถูกแปลงเป็นพลังงานความร้อนโดยตัวหน่วงแรงเสียดทาน ซึ่งช่วยลดการหยุดกะทันหันหรือป้องกันแอมพลิจูดการสั่นสะเทือนที่สูงเกินไปก่อนหน้า



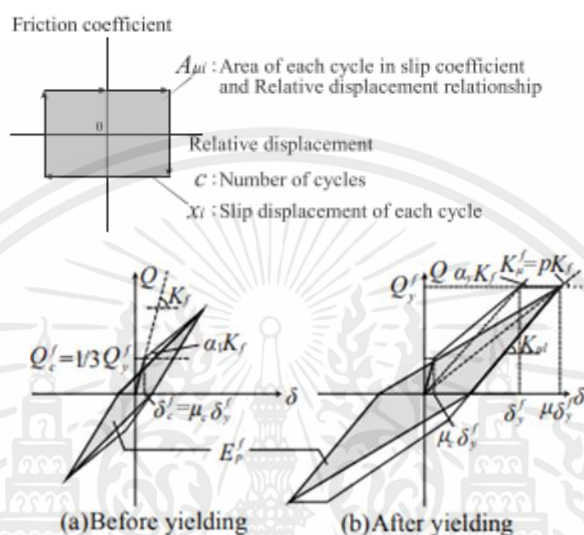
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูป (force-deformation curve) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2. การออกแบบตัวหน่วงแรงเสียดทาน

2.3.2.1 Steel Building Lumped Mass Model

พฤติกรรมโครงสร้างของอาคารที่มีอยู่ได้รับการประเมินโดยใช้การวิเคราะห์แบบผลักข้ามแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear push-over analysis) ที่ซึ่งได้รับ push-over curves ถูกแทนที่ด้วยสันนิษฐานการลดสามเชิงเส้น (Tri-linear degrading) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 Assumed Hysteresis loop of Steel frame [5]

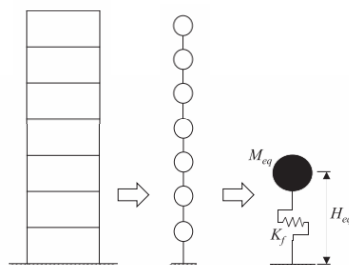
K_f : Initial stiffness, $\alpha_1 K_f$: Second stiffness ($\alpha_1=0.22$), μ : Ductility factor of Steel structure on target displacement

ระยะ post-yielding ถูกสมมุติฐานว่าเป็นพลาสติกอย่างสมบูรณ์แบบ The initial stiffness, K_f , horizontal yielding strength, Q_{yf} , cracking displacements, δ_{cif} และ yielding displacements, δ_{yif} ของแต่ละชั้นได้ถูกกำหนดแล้ว เพื่อความง่ายของวิธีการ δ_{yif} ของแต่ละชั้นถูกสมมติให้เท่ากันทุกชั้น

2.3.2.2. Defining an equivalent Single Degree-of-freedom Model

แบบจำลอง Single degree-of-freedom (SDOF) ถูกกำหนดโดยแบบจำลอง multi degree-of-freedom (MDOF) แสดงในรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Existing Steel building MDOF model Equivalent SDOF model

รูปที่ 2.5 Conversion of SDOF model [6]

Equivalent height H_{eq} และ equivalent mass M_{eq} ถูกหาโดยพิจารณาเฉพาะโหมดที่ 1 เท่านั้น

$$H_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot s_i \cdot H_i}{\sum_{i=1}^N m_i \cdot s_i} \quad (2.4)$$

$$M_{eq} = \frac{\left(\sum_{i=1}^N m_i \cdot s_i\right)^2}{\sum_{i=1}^N m_i \cdot s_i} \quad (2.5)$$

เมื่อ s_i คือ elastic mode หรือ mode shape ของชั้น i สำหรับ mode shape ที่ s secant stiffness ของแบบจำลอง SDOF สำหรับ target displacement, K_{μ}^f หาได้จากสมการ

$$K_{\mu}^f = M_{eq} \left(2\pi/T_{\mu}^f\right)^2 \quad (2.6)$$

Equivalent period T_{μ}^f หาได้จากสมการ

$$T_{\mu}^f = \sqrt{\mu/\alpha_y} \cdot T_f \quad (2.7)$$

โดยใช้ natural period ของแบบจำลอง MDOF T_f and μ

2.3.2.3. Evaluation of Damping of Structural System

พลังงาน hysteresis ของโครงสร้างเหล็ก E_p^f ถูกประมาณโดยการพิจารณา hysteresis loop สำหรับการเคลื่อนตัวที่เป็นเป้าหมายของการติดตั้งเพิ่มเติม

$$E_f = 2pK_f(\mu_f\delta_f)^2 \cdot \frac{(1-p)\mu_c}{\mu_c + p\mu_f} \text{ for } (\mu_c < \mu_f \leq 1) \quad (2.8a)$$

พฤติกรรม hysteresis ของ damper และ เฟรม elastic ถูกพิจารณาด้วยเหมือนกัน

พลังงาน hysteresis ของ damper อย่างเดียว E_d และ พลังงาน hysteresis ของ damper และ เฟรม elastic E_{fe} มีค่าเท่ากัน สามารถหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_d = 4F_d \delta_{ur} = 4F_d (\mu_f \delta_{fy}) \quad (2.9a)$$

$$E_{\Sigma fe} = \frac{1}{2} \left(pK_f + \frac{F_d}{\mu_f \delta_{fy}} \right) (\mu_f \delta_{fy})^2 \quad (2.9b)$$

ในสมการข้างต้น K_d , δ_y^d , μ_d คือ stiffness, yielding displacement and ductility factor of dampers ตามลำดับ อัตราส่วนระหว่าง stiffness ของ เฟรม elastic และ stiffness ของ damper $\gamma_s = K_s f / K_d$ คือพารามิเตอร์ที่สำคัญของบทความนี้ Equivalent elastic strain energy ของระบบโครงสร้างทั้งหมด $E_e^f + E_e^d$ สามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$E_e^f + E_e^d = \begin{cases} \frac{1}{2} K_f (\mu \delta_y^f)^2 \left((1 + \gamma_s) \frac{K_d}{K_f} + p \right) & \left(\mu_c < \mu \leq \frac{\delta_y^d}{\delta_y^f} \right) \end{cases} \quad (2.10a)$$

$$\begin{cases} \frac{1}{2} K_f (\mu \delta_y^f)^2 \left((1/\mu_d + \gamma_s) \frac{K_d}{K_f} + p \right) & \left(\frac{\delta_y^d}{\delta_y^f} < \mu \right) \end{cases} \quad (2.10b)$$

อัตราส่วน equivalent damping ของชุดติดตั้งเพิ่มเติมแบบจำลอง Steel หาได้จากสมการ

$$\xi_{eq}^f = \xi_{f0} + \frac{E_f + E_d}{4\pi E_{\Sigma fe}} \quad (2.11)$$

เมื่อ ξ_{f0} คือ ตัวหน่วงของโครงสร้างธรรมชาติ inherent structural damping สมมติให้เป็น 0.03

อย่างไรก็ตาม โครงสร้างแสดงฮิสเทรีซิสลูปจำนวนมากที่มีแอมพลิจูดไม่แน่นอนในระหว่างการกระตุ้นแผ่นดินไหวแบบสุ่ม Newmark และ Rosenbluth ได้เสนอแนวคิดการหน่วงเฉลี่ยซึ่งประเมินค่าเฉลี่ย การหน่วงสำหรับช่วงที่ครอบคลุมตั้งแต่ 0 ถึงแอมพลิจูดสูงสุด จากผลการศึกษาเชิงตัวเลข reduction factor ที่ปลอดภัย $R=0.7$

อัตราส่วน equivalent damping ของโครง Steel ξ_{eq} หาได้จากสมการ

$$\xi_{eq} = \xi_{f0} + C_r \left(\frac{E_f + E_d}{4\pi E_{\Sigma fe}} \right) \quad (2.12)$$

อัตราส่วน equivalent damping ของชุดติดตั้งเพิ่มเติมแบบจำลอง Steel หาได้จากสมการ

$$h_{eq} = \frac{E_p^f + E_p^d}{4\pi (E_e^f + E_e^d)} \cdot R \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.4. Evaluation of Max Displacement by Response Spectrum

มูมการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของโครง Steel θ_{μ}^f หาค่าได้โดย displacement response spectrum

พิจารณา ξ_{fu} และ ξ_{eq} คือค่าเฉลี่ยของ Equivalent hysteretic damping of SDOF

$$R = \sqrt{\frac{1 + a \cdot \xi_{fu}}{1 + a \cdot \xi_{eq}}} \quad (2.14)$$

เมื่อ T_{μ}^{Σ} คือ secant natural period ของชุดติดตั้งเพิ่มเติมโครง Steel, ค่าสัมประสิทธิ์ a ถูกเสนอให้มีค่า $a=25$ (คลื่นแผ่นดินไหวจากการสังเกต) , $a=75$ (คลื่นแผ่นดินไหวเทียม) ในบทความนี้จะใช้เป็นคลื่นแผ่นดินไหวเทียม อย่างไรก็ตาม a ถูกนิยามให้เป็น 25 สำหรับการพิจารณาการตอบสนองที่ไม่เสถียรของโครงสร้างเหล็ก เมื่อเทียบกับโครงสร้างเหล็ก มูมการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของระบบโครงสร้างทั้งหมด θ_{eq}^{Σ} หาได้จาก

$$\frac{\theta_{tar}}{\theta_{fu}} = \frac{T_{\Sigma\mu}}{T_{fu}} \sqrt{\frac{1 + a \xi_{fu}}{1 + a \xi_{eq}}} = \sqrt{\frac{pK_f}{pK_f + F_d/\delta_{tar}}} \frac{1 + a \xi_{fu}}{1 + a \xi_{eq}} \quad (2.15a)$$

$$= \sqrt{\frac{p}{p + F_d/(K_f \delta_{tar})}} \frac{1 + a \xi_{fu}}{1 + a \xi_{eq}} \quad (2.15b)$$

2.3.2.5. Evaluation of the Amount of Damper

Damper stiffness ที่ทำให้ได้ target displacement ตามความต้องการถูกคำนวณตามเงื่อนไข $\theta_{eq}^{\Sigma} = \theta_{tar}^{\Sigma}$

$$p \left(1 + ah_p^f\right) \left(\frac{\theta_m^f}{\theta_{tar}^{\Sigma}}\right)^2 = \left(p + r_d \left(\gamma_s + \frac{1}{\mu_d}\right)\right) (1 + ah_{eq}) \quad (2.17)$$

ท้ายที่สุด r_d หรืออัตราส่วน ระหว่าง stiffness ของ damper และ เฟรม Steel, $r_d = K_d/K_f$

$$r_d = \frac{p \left(\left(\frac{\theta_m^f}{\theta_{tar}^{\Sigma}} \right)^2 - 1 \right) \left(1 + a \left(h_0^f + \frac{1}{\pi} \cdot \frac{p\mu + \mu_c - p\mu^{\lambda}(1 + \mu_c)}{p\mu + \mu_c} \cdot R \right) \right)}{\left(1 + ah_0^f \right) \left(\gamma_s + \frac{1}{\mu_d} \right) + \frac{2aR}{\pi\mu_d} \left(1 - \frac{1}{\mu_d} \right)} \quad (2.18)$$

2.3.2.6. Damper Distribution for Multi Story Steel Buildings

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของการกระจายตัวหน่วยสำหรับอาคาร Steel หลายชั้น เมื่อสมการนี้ถูกกำหนด secant stiffness สำหรับ displacement เป้าหมาย ของชุดติดตั้งเพิ่มเติมถูกพิจารณาเป็น stiffness ของแต่ละชั้นของอาคาร Steel หลายชั้น และเงื่อนไขต่อไปนี้จะถูกสันนิษฐานด้วย

a) อัตราส่วน equivalent damping ของระบบโครงสร้างทั้งหมดและเฟรม steel สำหรับ displacement เป้าหมายจะเหมือนกันระหว่างแบบจำลอง SDOF และ แบบจำลอง MDOF

b) ในโค้ดแผ่นดินไหวของญี่ปุ่น แรงเฉือนตาม stiffness distribution method ที่ชื่อว่า Ai method ได้ถูกนิยามขึ้น ภายใต้เงื่อนไขการกระจายแรงของ Ai มุมการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของแต่ละชั้นเท่ากับมุมการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของแบบจำลอง SDOF ที่เป็นเป้าหมาย $\theta_{tar}\Sigma$

c) Ductility factor ของตัวหน่วย μ_{di} , Ductility factor ของโครง Steel μ_i , อัตราส่วน stiffness ของตัวหน่วยและเฟรม elastic γ_{si} บนแต่ละชั้นเหมือนกัน ($i < N$)

พิจารณาเงื่อนไข a) จะได้สมการที่ 2.19

$$\frac{\sum_{i=1}^N E_{pi}^d}{\sum_{i=1}^N (E_{ei}^f + E_{ei}^d)} = \frac{E_p^d}{E_e^f + E_e^d} \quad (2.19)$$

เมื่อแยกพารามิเตอร์แต่ละตัวในสมการที่ 2.19 จะได้สมการที่ 2.20

$$\frac{\sum_{i=1}^N [K_{di}(\mu_{di} - 1)(\theta_i h_i / \mu_{di})^2]}{\sum_{i=1}^N [(K_{\mu i}^f \mu_{di} + K_{di} + \gamma_{si} K_{di} \mu_{di})(\theta_i h_i)^2]} = \frac{K_d(\mu_d - 1)}{(K_{\mu}^f \mu_d + K_d + \gamma_s K_d \mu_d) \mu_d^2} \quad (2.20)$$

พิจารณาเงื่อนไข b)

มุมการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของแต่ละชั้น θ_i คือ θ , Ductility factor ของตัวหน่วย μ_{di} คือ μ_d และ Ductility factor ของโครง Steel μ_i คือ μ แทนค่าความสัมพันธ์เหล่านี้ในสมการที่ 2.20 จะได้สมการที่ 2.21

$$\frac{\sum_{i=1}^N (K_{di} h_i^2)}{\sum_{i=1}^N (K_{\mu i}^f h_i^2)} = K_d / K_{\mu}^f \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาเงื่อนไข c)

สมการที่ 2.22 สมบูรณ์ เพราะ มุมการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของแต่ละชั้น ภายใต้แรงเฉือนตามการกระจาย A_i เหมือนกัน

$$\theta_{tar}^{\Sigma} = \frac{Q_i h_i}{(K_{\mu i}^f + (\gamma_s + 1/\mu_d) K_{di}) h_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i h_i)}{\sum_{i=1}^N \{(K_{\mu i}^f + (\gamma_s + 1/\mu_d) K_{di}) h_i^2\}} \quad (2.22)$$

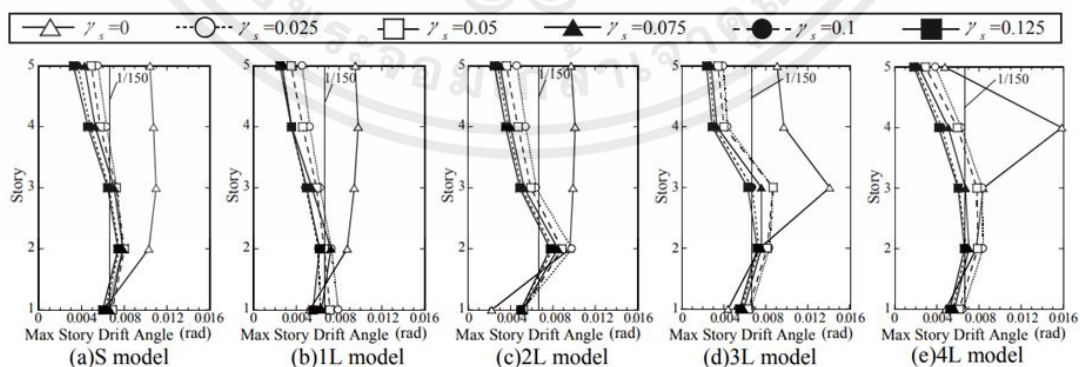
ท้ายที่สุด stiffness ของตัวหน่วง K_{di} ของชั้น i ของอาคาร Steel หลายชั้น แสดงในสมการที่ 2.23 ซึ่งได้จากการแทนสมการที่สมการที่ 2.22 เพื่อสมการที่ 2.21 สมการที่ 2.23 คือ damper stiffness บนชั้น i เพื่อตอบสนอง displacement เป้าหมายในการติดตั้งเพิ่มเติมจากแผ่นดินไหว

$$K_{di} = \frac{Q_i \sum_{i=1}^N (K_{\mu i}^f h_i^2)}{h_i \sum_{i=1}^N (Q_i h_i)} \left(\frac{1}{\gamma_s + 1/\mu_d} + \frac{\mu}{\alpha_y} \cdot r_d \right) - \frac{K_{\mu i}^f}{\gamma_s + 1/\mu_d} \quad (2.23)$$

จากงานวิจัยข้างต้นได้ผลการทดสอบดังนี้

Max story drift angle

เมื่อ γ_s (อัตราส่วนระหว่าง stiffness ของ เฟรม elastic และ stiffness ของ damper) เพิ่มขึ้น max story drift angle จะลดลง และ max story drift angle บนชั้นที่อ่อนจะได้รับการเคลื่อนตัวเป้าหมายประมาณ 1/200 เมื่อ γ_s มีค่าประมาณ 0.05 และเมื่อ γ_s มีค่าเกิน 0.1 การลดการตอบสนองไม่มีนัยสำคัญ

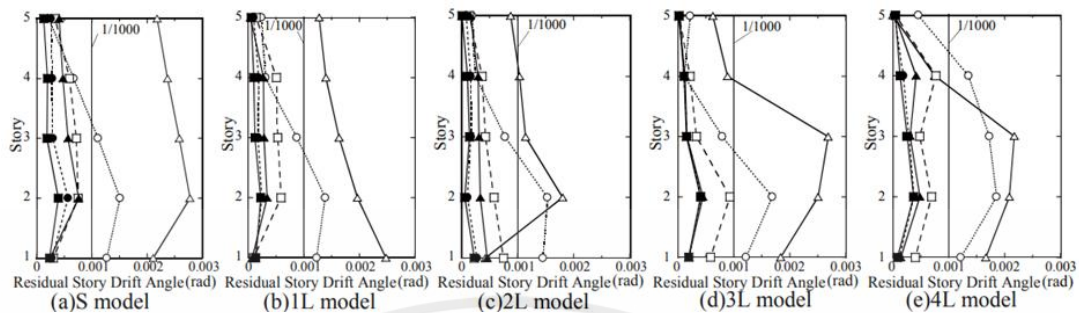


รูปที่ 2.6 Max Story Drift Angle [7]

Residual story drift angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ γ_s มีค่าเกิน 0.05~0.075, residual story drift angle จะต่ำกว่า 1/1000 รับรองความต่อเนื่องของอาคารที่ใช้ และสังเกตได้ว่าเมื่อ γ_s เพิ่มขึ้น residual story drift angle จะลดลง



รูปที่ 2.7 Residual Story Drift Angle [8]

จากการทบทวนงานวิจัยนี้ มีข้อจำกัดคือเป็นวิธีการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับระบบอาคารสูง 5 ชั้น และใช้ mode shape เพียงแค่ 1 โหมด แต่อาคารที่นำมาใช้ในโปรเจกของเรา เป็นอาคารสูง 7 ชั้นซึ่งอาจจะมีมากกว่า 1 โหมด พวกเราจึงจะนำวิธีนี้มาประยุกต์ใช้กับอาคารสูงเพื่อดูว่ามีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพหรือไม่ ถ้าไม่แล้วจะพัฒนาหรือปรับปรุงได้อย่างไร

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

3.1. รูปแบบการวิจัยหรือแบบแผนการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารเหล็กที่มีความสูงขนาดกลางก่อนและหลังเสริมกำลังโดยตัวห่วงแบบแรงเสียดทาน เพื่อที่จะทำให้ผ่านมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยศึกษาเปรียบเทียบจาก ระยะเวลาเคลื่อนตัวของอาคาร เนื่องจากแรงแผ่นดินไหว กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2564

เมื่อ EQ_x คือ แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน x โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

EQ_y คือ แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน y โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า

3.2. การรวบรวมข้อมูล

ทำการรวบรวมข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ หนังสือ และเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยที่ได้ให้รายละเอียดไว้แล้วในบทที่ 2

3.3. เครื่องมือวิจัย

วิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างอาคารก่อนเสริมกำลัง และหลังเสริมกำลังด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า โดยวิธีการเสริมกำลังด้วยตัวห่วงแบบแรงเสียดทาน

3.4. ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสริมกำลังโดยการใช้ตัวห่วงแบบแรงเสียดทาน
- 2) ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2564
- 3) ศึกษาวิธีการใช้งานโปรแกรม ETABS
- 4) สร้างแบบจำลองอาคารโครงสร้างเหล็ก สูง 7 ชั้น โดยใช้โปรแกรม ETABS
- 5) ออกแบบเพื่อหาจำนวน Friction Dampers ที่ต้องใส่ในแต่ละชั้น
- 6) นำแบบจำลองอาคารมาเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหว
- 7) สรุปผล

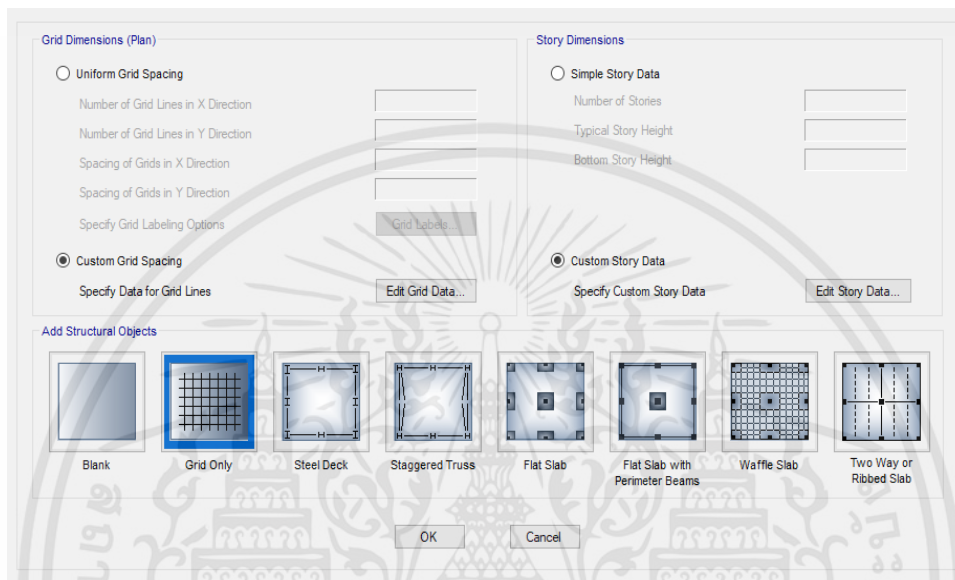
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5. การสร้างแบบจำลองอาคาร

3.5.1. ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม ETABS

การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม ETABS จะทำการจำลองโครงสร้างอาคารเหล็กสูง 7 ชั้น

1) เริ่มต้นโปรแกรม ETABS โดยการวางแนว Grid line จำนวนชั้นและความสูงของแต่ละชั้นตามแบบ



รูปที่ 3.1 วางแนว Grid line และจำนวนชั้นของแบบจำลอง

กำหนดคุณสมบัติของเหล็ก (FY) 2400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โมดูลัสยืดหยุ่น ของเหล็ก (E) เท่ากับ 2.04×10^6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

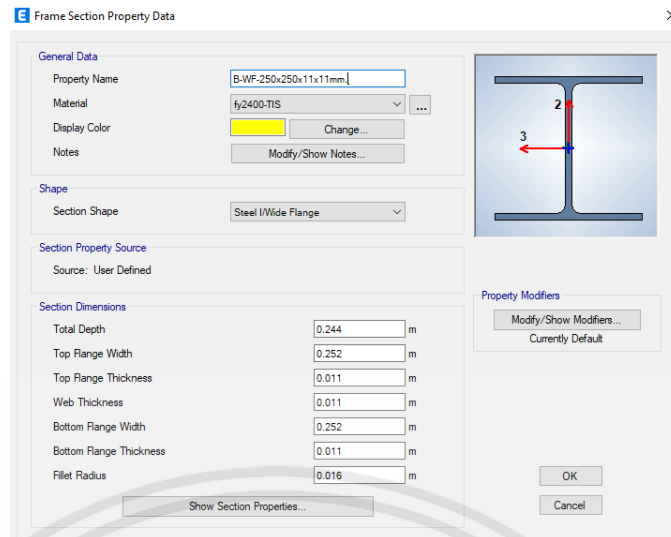
กำหนดแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กมีกำลังรับแรงอัด (f_c') เท่ากับ 600 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

รูปที่ 3.2 กำหนดคุณสมบัติของเหล็ก

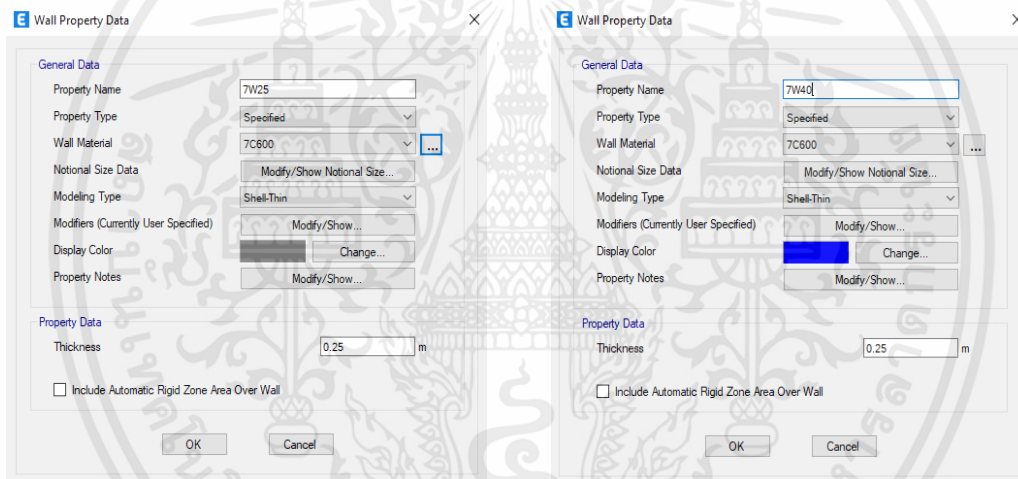
- 1) กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของโครงสร้างต่าง ๆ ในอาคาร ได้แก่ เสา คาน ผนังรับแรงเฉือน และพื้น Post tension เป็นต้น โดยมีตัวอย่างดังต่อไปนี้

รูปที่ 3.3 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

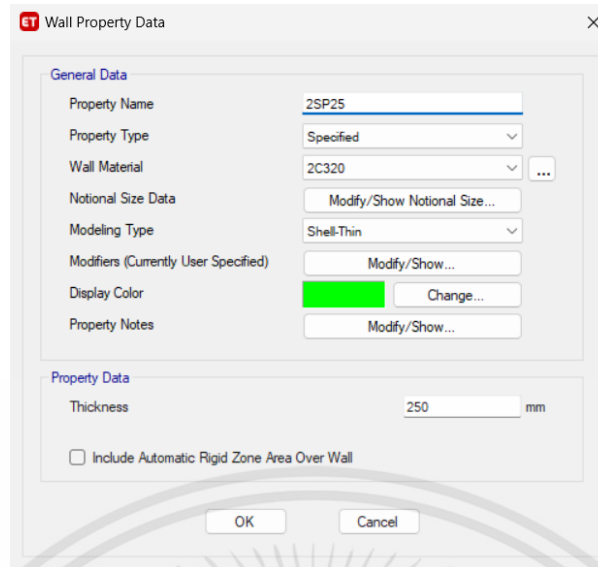


รูปที่ 3.4 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติคาน



รูปที่ 3.5 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติผนังรับแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



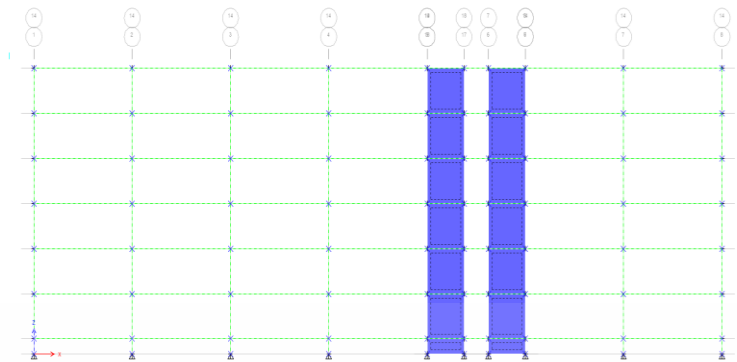
รูปที่ 3.6 กำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของแผ่นพื้น Post-Tension

หลังจากกำหนดขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติต่าง ๆ แล้ว จากนั้นทำการสร้างแบบจำลอง โดยจะกำหนดจุดรองรับของแบบจำลองเป็นแบบยึดหมุน เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณแรงแผ่นดินไหวต่อไป



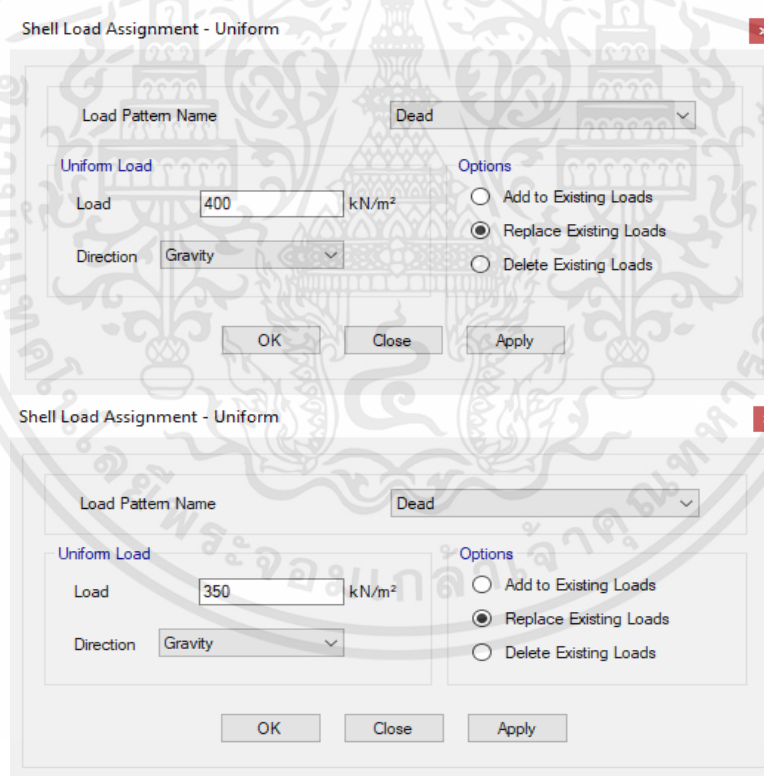
รูปที่ 3.7 แพลนแบบจำลองของโครงสร้าง เสา ผนังรับแรงเฉือนและพื้นชั้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 กำหนดจุดรองรับของแบบจำลองเป็นแบบยึดหมุน

ทำการใส่น้ำหนักบรรทุก (Load) ที่พื้นของแต่ละชั้น โดยน้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL) เท่ากับ 400 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และน้ำหนักบรรทุกจร (LL) เท่ากับ 350 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

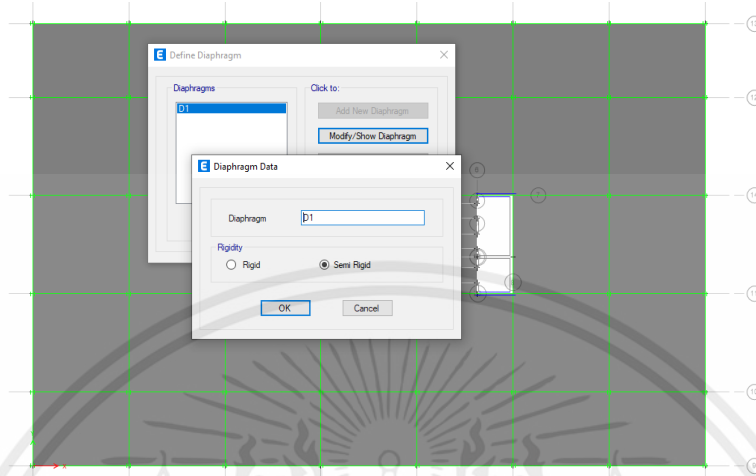


รูปที่ 3.9 กำหนดน้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL) เท่ากับ 400 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

(LL) เท่ากับ 350 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

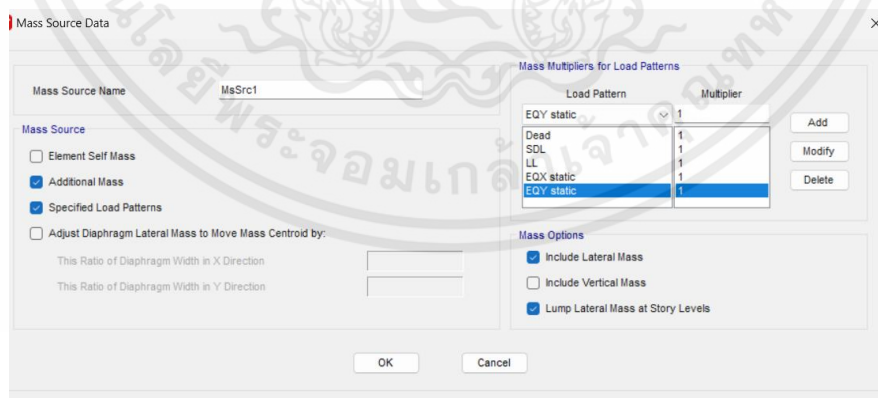
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้จุดศูนย์กลางของอาคารส่วน tower เป็นไดอะแฟรม (Diaphragm) D1 เพื่อส่งถ่ายแรงด้านข้าง และกำหนดให้ D1 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid Diaphragm)



รูปที่ 3.10 กำหนด D1 เป็นไดอะแฟรมแข็ง (Rigid Diaphragm)

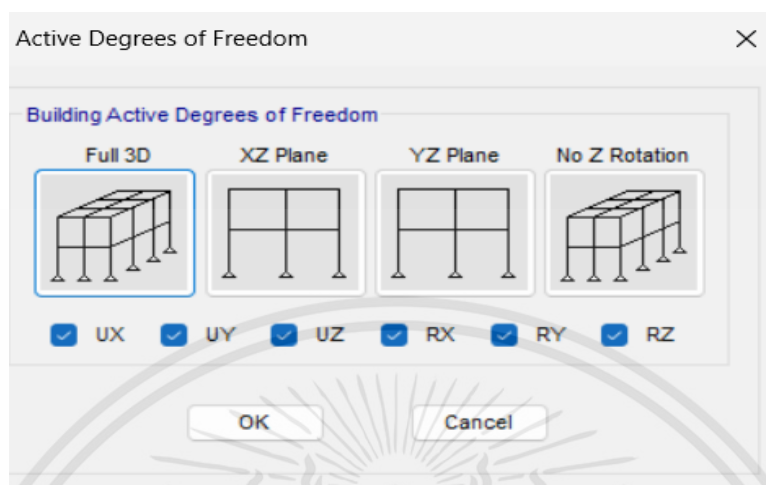
กำหนดค่าน้ำหนักสุทธิ (Mass Source) โดยใช้น้ำหนักบรรทุกทุกคงที่ (น้ำหนักโครงสร้าง) 100% น้ำหนักบรรทุกจร 100% น้ำหนักบรรทุกคงที่ (วัสดุตกแต่งและผนัง) 100% แรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 100% และแรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน Y โดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 100%



รูปที่ 3.11 กำหนดค่าน้ำหนักสุทธิ (Mass Source)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดรูปแบบการสั่นพื้นฐานของอาคารที่ 12 โหมด เมื่อกำหนดและป้อนข้อมูลทุกอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการสั่งวิเคราะห์แบบจำลอง



รูปที่ 3.12 กำหนดรูปแบบการสั่นพื้นฐานของอาคาร

3.5.2. การคำนวณแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีสถิตเทียบเท่า

ในส่วนของการวิเคราะห์โครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐานการออกแบบองค์อาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยพิจารณาจากแบบจำลองในโปรแกรม ETABS การคำนวณแรงแผ่นดินไหวเริ่มจากการหาแรงเฉือนที่ฐาน ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$V = C_s W \quad (3.1)$$

- โดยที่ C_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเร่งตอบสนอง คำนวณได้จาก $C_s = \frac{S_a I}{R}$
 S_a คือ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมบนพื้นดินสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร มีค่าเทียบเป็นสัดส่วนของค่าความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก
 I คือ ตัวประกอบความสำคัญของอาคาร
 R คือ ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง
 W คือ น้ำหนักทั้งหมดของอาคาร (kg)

หลังจากนั้นหาแรงกระทำในแต่ละชั้นจากสมการ

$$F_x = \frac{w_x H_x^k}{\sum_{i=1}^N w_i H_i^k} V \quad (3.2)$$

- โดยที่ W_x คือ น้ำหนักของพื้นที่ชั้น x (kg)
 H_x คือ ความสูงจากพื้นดินของชั้น x (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

k คือ ค่าตัวคูณลดกำลังมีค่าเท่ากับ 1

เมื่อ $T < 0.5$ s

$1 + \frac{T-0.5}{2}$ เมื่อ $0.5 < T < 2.5$ s

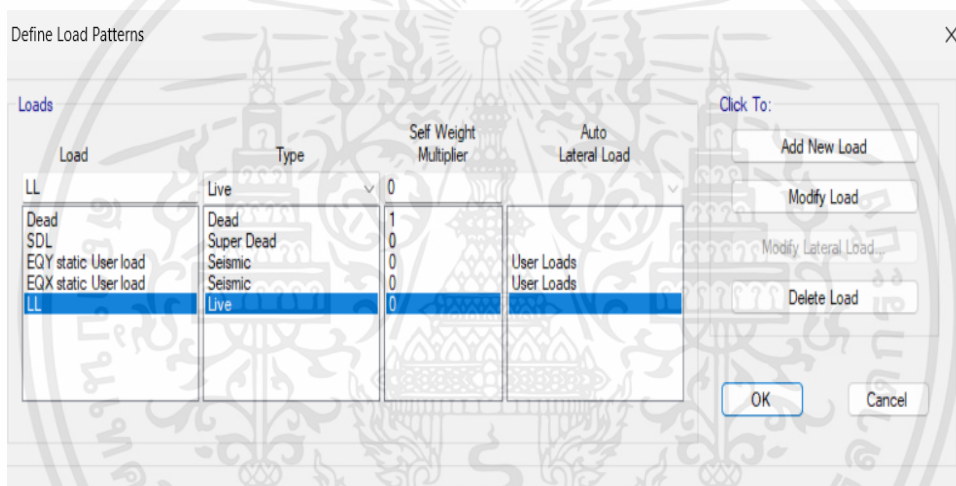
เมื่อ $T > 2.5$ s

n คือ จำนวนชั้นทั้งหมด

F_x คือ แรงที่กระทำในแต่ละชั้น x (kg)

V คือ แรงเฉือนที่ฐาน (kg)

กำหนดแรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน Y (EQY) และแรงแผ่นดินไหวในทิศทางแกน X (EQX) โดยทำการเลือกชนิดแรงแผ่นดินไหวเป็นแบบกำหนดเอง (User Loads) และทำการใส่ค่าแรงที่กระทำในแต่ละชั้น x (F_x) ที่คำนวณได้ไปใส่



รูปที่ 3.13 กำหนดกรณีและลักษณะของแรงแผ่นดินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

User Seismic Loads on Diaphragms

Number of Load Sets: 1

Load Set 1 of 1

Story	Diaphragm	Fx kN	Fy kN	Mz kN-m
Story7	D1	0	1610.8154	0
Story6	D1	0	647.6488	0
Story5	D1	0	647.6488	0
Story4	D1	0	647.6488	0
Story3	D1	0	647.6488	0
Story2	D1	0	647.6488	0
Story1	D1	0	813.8702	0

1

Apply Load at Diaphragm Center of Mass Additional Eccentricity Ratio (all Diaphragms): 0.05

Sort Rows Add Row Delete Row(s)

OK Cancel

รูปที่ 3.14 ใส่ค่าแรงที่กระทำด้าน Y ในแต่ละชั้น

User Seismic Loads on Diaphragms

Number of Load Sets: 1

Load Set 1 of 1

Story	Diaphragm	Fx kN	Fy kN	Mz kN-m
Story7	D1	1610.8154	0	0
Story6	D1	647.6488	0	0
Story5	D1	647.6488	0	0
Story4	D1	647.6488	0	0
Story3	D1	647.6488	0	0
Story2	D1	647.6488	0	0
Story1	D1	813.8702	0	0

1

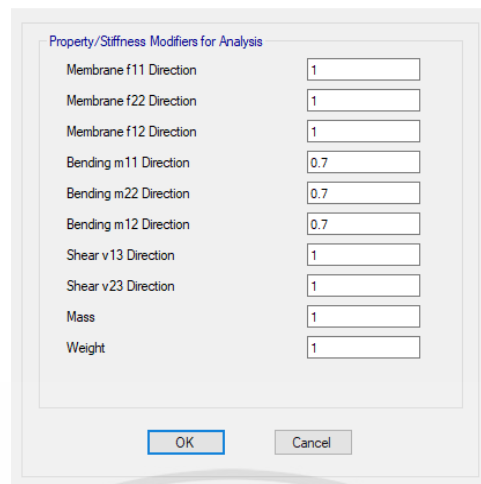
Apply Load at Diaphragm Center of Mass Additional Eccentricity Ratio (all Diaphragms): 0.05

Sort Rows Add Row Delete Row(s)

OK Cancel

รูปที่ 3.15 ใส่ค่าแรงที่กระทำด้าน X ในแต่ละชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 กำหนดค่า Stiffness ประสิทธิภาพของผนังรับแรงเฉือน

3.6. การเสริมกำลังของโครงสร้าง

3.6.1. วิธีการออกแบบ FD

1) Simplification of Steel building to single degree of freedom (ลดความซับซ้อนของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กให้เป็นแบบจำลองอย่างง่าย)

โดยคำนวณ Equivalent height (H_{eq}), Equivalent mass (M_{eq}) และ Elastic lateral stiffness (K_f) จากสมการ

$$H_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot u_i \cdot H_i}{\sum_{i=1}^N m_i \cdot u_i} \quad (3.3)$$

$$M_{eq} = \frac{(\sum_{i=1}^N m_i \cdot u_i)^2}{\sum_{i=1}^N m_i \cdot u_i^2} \quad (3.4)$$

$$K_f = \left(\frac{2\pi}{T_f}\right)^2 M_{eq} \quad (3.5)$$

โดยค่า H_{eq}	คือ Equivalent height (m)
M_{eq}	คือ Equivalent mass (kg)
K_f	คือ Elastic lateral stiffness (kN/mm)
m_i	คือ มวลสำหรับแต่ละชั้น i^{th} (kg)
u_i	คือ Fundamental modal displacement สำหรับแต่ละชั้น i^{th} (m)
H_i	คือ ความสูงสำหรับแต่ละชั้น i^{th} (m)
T_f	คือ Fundamental period (sec)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) หาค่า p (Stiffness reduction factor) โดยสมการค่า p นั้นขึ้นกับความความสัมพันธ์ของ Base shear – roof displacement ของ frame ซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์แบบ Nonlinear modal pushover

โดยที่ μ_f คือ Drift ductility at the target roof displacement
 คำนวณได้จาก $\frac{\delta_{tar}}{\delta_{fy}}$
 δ_{tar} คือ Lateral target displacement คำนวณได้จาก $\theta_{tar} \cdot H_{eq}$
 δ_{fy} คือ Lateral yield deformation of the SDOF_{steel}
 คำนวณได้จาก $\theta_{fy} \cdot H_{eq}$

ซึ่งได้มีการกำหนดค่า $\theta_{tar} = 1/250$ และ $\theta_{fy} = 15/3200$

μ_c คือ The ratio of the crack-to-yield displacements มีค่าเท่ากับ 0.1
 คำนวณค่า p จากสมการ

$$p = \frac{\mu_c + \alpha_1(\mu_f - \mu_c)}{\mu_f} \text{ for } (\mu_c < \mu_f \leq 1) \quad (3.6)$$

โดยที่ p คือ Stiffness reduction factor
 α_1 คือ Pre-yield stiffness ratio มีค่าเท่ากับ 0.22
 3) หาค่า Hysteretic energy of the SDOF_{steel} (E_f)

คำนวณได้จากสมการ

$$E_f = 2pK_f(\mu_f\delta_{fy})^2 \cdot \frac{(1-p)\mu_c}{\mu_c + p\mu_f} \text{ for } (\mu_c < \mu_f \leq 1) \quad (3.7)$$

โดย E_f คือ Hysteretic energy of the SDOF_{steel} (kN-mm)
 λ คือ ค่าที่ใช้ลด stiffness ของ Takeda มีค่าเท่ากับ 0.4

4) หาอัตราส่วนความแข็งระหว่าง dampers กับ Steel frame (r_d) คำนวณได้จากสมการ

$$r_d = \frac{K_d}{K_f} = \frac{p \left(\left(\frac{\theta_{f\mu}}{\theta_{tar}} \right)^2 - 1 \right) \cdot \left(1 + a \left(\xi_{r0} + \frac{R}{\pi} A_{r1} \right) \right)}{(1 + a h_{f0}) \left(\gamma_s + \frac{1}{\mu_d} \right) + \frac{2aR}{\pi \mu_d} \left(1 - \frac{1}{\mu_d} \right)} \text{ for } (\mu_c < \mu_f \leq 1) \quad (3.8)$$

โดยที่ r_d คือ อัตราส่วนความแข็งระหว่าง dampers กับ Steel frame
 $\theta_{f\mu}$ คือ Story drift of the SDOF_{steel} model คำนวณได้จาก $\frac{S_d}{H_{eq}}$ (rad)
 a คือ Default calibration coefficient มีค่าเท่ากับ 25
 R คือ Safe reduction factor มีค่าเท่ากับ 0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ξ_{f0} คือ Intrinsic damping of the existing steel frame มีค่าเท่ากับ 0.025

A_{f1} คือ Introduce two factors คำนวณได้จาก

$$A_{f1} = \frac{(1-p) \cdot \mu_c}{\mu_c + p \mu_f} \text{ for } (\mu_c < \mu_f \leq 1) \quad (3.9)$$

γ_s คือ อัตราส่วนระหว่าง stiffness ของ เฟรม elastic และ stiffness ของ damper

μ_d คือ Ductility factor of dampers

5) หาค่า stiffness of dampers ($K_{d,i}$) คำนวณได้จากสมการ

$$K_{d,i} = \frac{Q_i \sum_{i=1}^N (K_{f\mu,i} H_i^2)}{H_i \sum_{i=1}^N (Q_i H_i)} \left(\frac{1}{\gamma_s + \frac{1}{\mu_d}} + \frac{\mu_f}{\alpha_1 (\mu_f - \mu_c) + \mu_c} \cdot r_d \right) - K_{f\mu,i} \text{ for } (\mu_c < \mu_f < 1) \quad (3.10)$$

โดยที่ $K_{d,i}$ คือ Stiffness of dampers (kN/mm)

Q_i คือ แรงเฉือนในแต่ละชั้น (kg)

$K_{f\mu,i}$ คือ The story secant stiffness of steel frame
คำนวณได้จาก $K_{f,i} \cdot p$ (kN/mm)

3.6 หา Required lateral slip force of friction dampers at i^{th} story ($F_{d,i}$)

จากสมการ

$$F_{d,i} = \frac{K_{d,i}}{x_{FD}} \quad (3.11)$$

โดยที่ $F_{d,i}$ คือ Required lateral slip force of friction dampers ที่ชั้น i^{th} (kN)

x_{FD} คือ คำนวณได้จาก $\frac{\theta_{y,FD}}{L_{FD}}$ (mm)

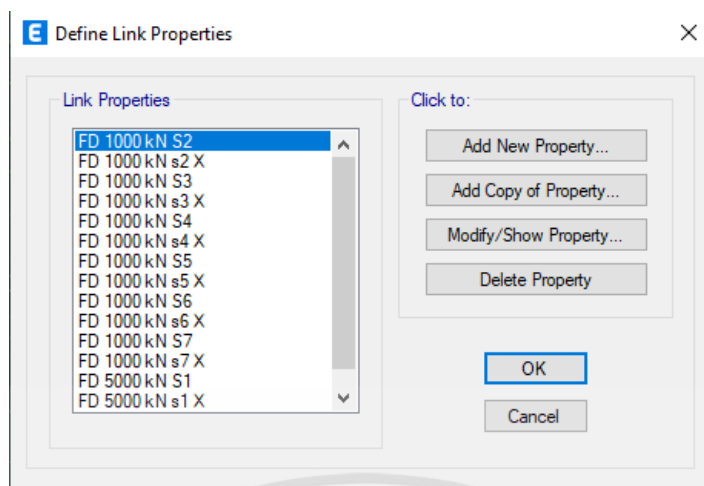
L_{FD} คือ ความยาวของ FD (mm)

3.6.1.7 หาจำนวน FD ในแต่ละชั้นได้จาก

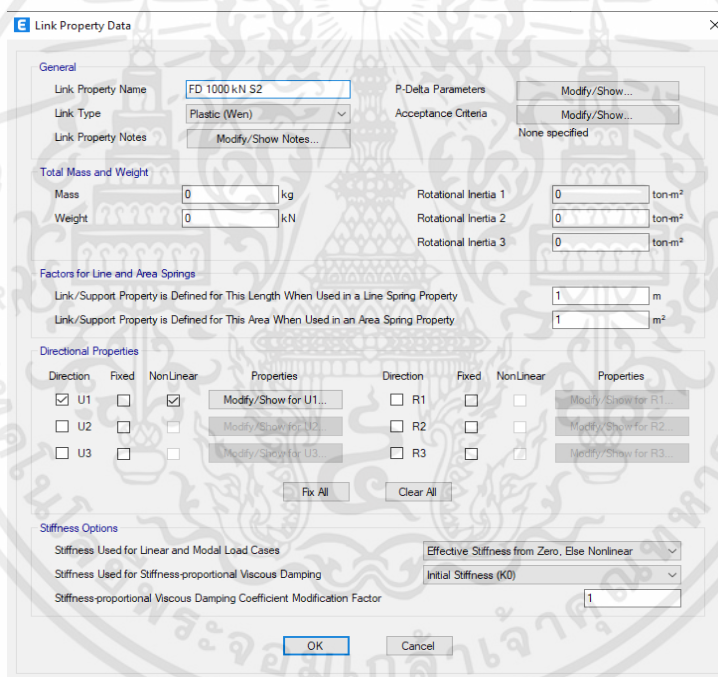
$$\text{จำนวน FD} = \frac{F_{d,i}}{F_{FD}} \quad (3.12)$$

โดยที่ F_{FD} คือ Strength ของ FD (kN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 กำหนด Link Properties สำหรับ FD



รูปที่ 3.18 กำหนด Link Property DATA สำหรับ FD แต่ละชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E Link/Support Directional Properties ×

Identification

Property Name	FD 1000 kN S2
Direction	U1
Type	Plastic (Wen)
NonLinear	Yes

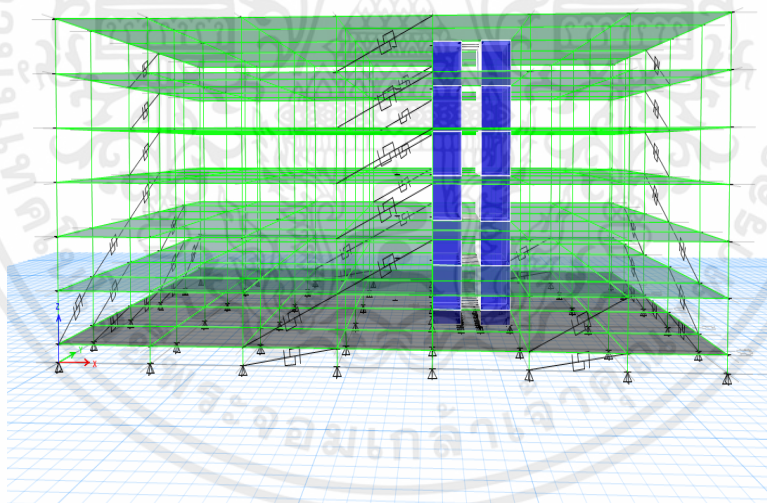
Linear Properties

Effective Stiffness	217438.4402	kN/m
Effective Damping	0	kN-s/m

Nonlinear Properties

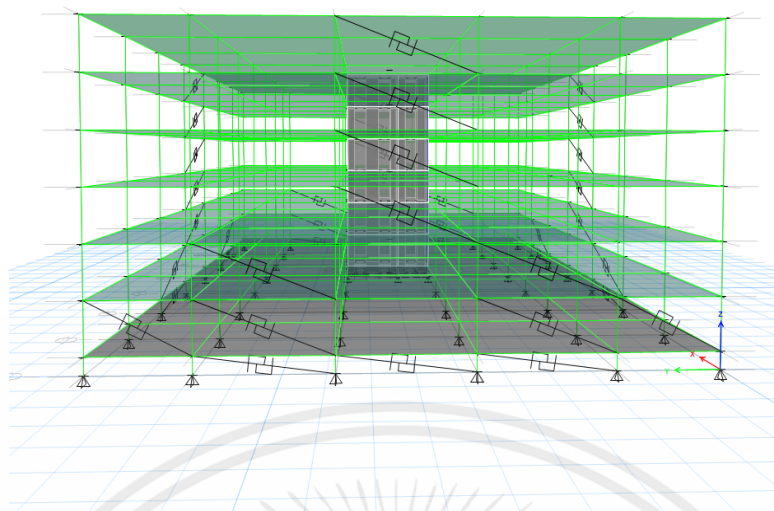
Stiffness	217438.4402	kN/m
Yield Strength	4670.81	kN
Post Yield Stiffness Ratio	0.0001	
Yielding Exponent	10	

รูปที่ 3.19 กำหนด Link Directional Properties สำหรับ FD

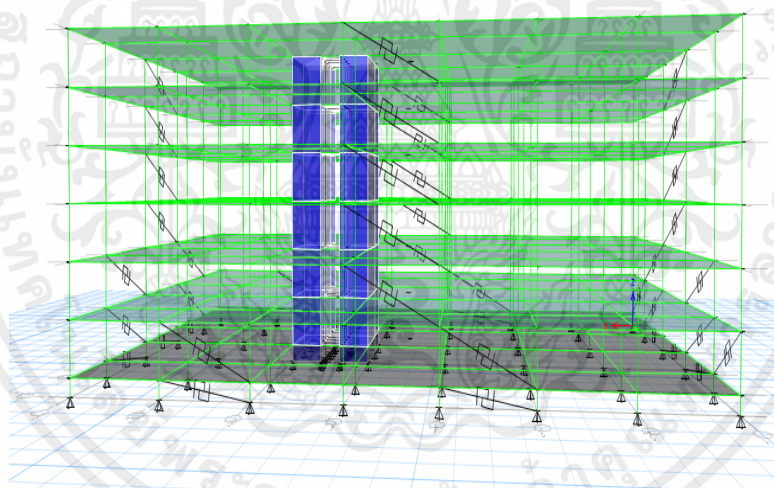


รูปที่ 3.20 แบบสามมิติของแบบจำลองโครงสร้างหลังเสริม FD ด้านที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

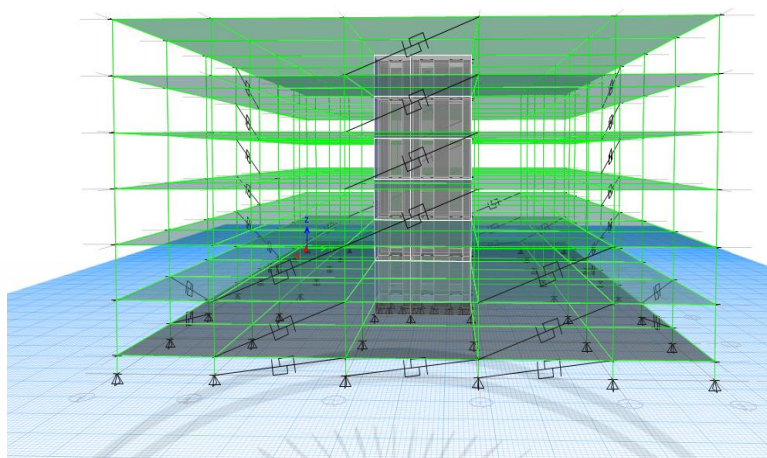


รูปที่ 3.21 แบบสามมิติของแบบจำลองโครงสร้างหลังเสริม FD ด้านที่ 2



รูปที่ 3.22 แบบสามมิติของแบบจำลองโครงสร้างหลังเสริม FD ด้านที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แบบสามมิติของแบบจำลองโครงสร้างหลังเสริม FD ด้านที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การออกแบบของตัวหน่วงแรงเสียดทาน (Friction damper) เพื่อเสริมกำลังต้านแรงแผ่นดินไหวสำหรับอาคารสูงปานกลาง โดยใช้โมเดลอาคารคอนกรีต 7 ชั้น เป็นอาคารตัวอย่าง ซึ่งเป็นโมเดลอาคารที่ถูกจำลองขึ้นให้มีลักษณะใกล้เคียงกับอาคารสูงในพื้นที่กรุงเทพมหานคร เมื่อได้รับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งพิจารณาค่าการเคลื่อนตัว (Story Displacement) ค่าอัตราส่วนของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift Ratio) และค่าระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift)

4.1. ผลที่ได้จากการออกแบบ

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงจำนวน FD ที่ได้จากการออกแบบและค่าสติเฟนของ FD

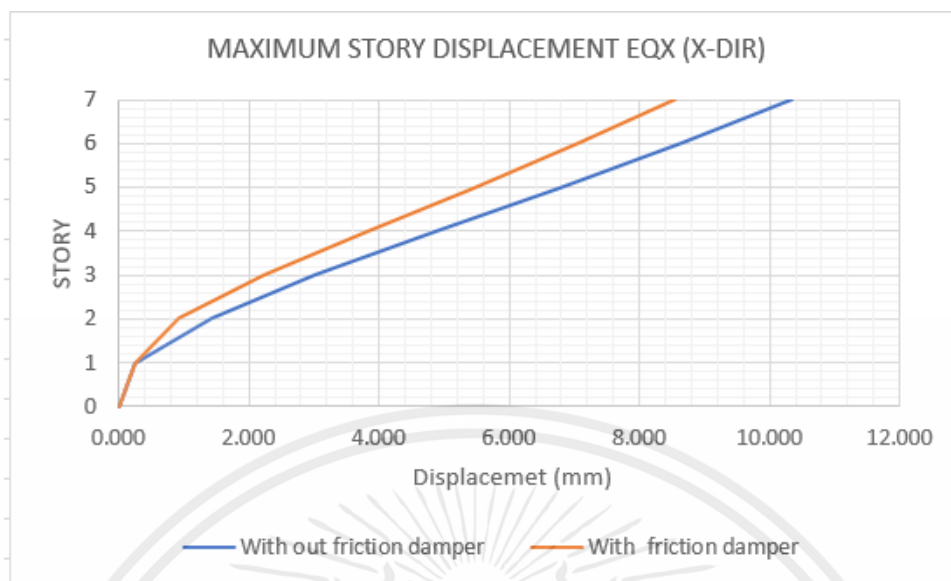
Story	จำนวน FD (ตัว/ชั้น)		จำนวน FD ที่สามารถเสริมได้จริง (ตัว)		F_{FD} (kN)	K_{FD} (kN/m) X-Dir	K_{FD} (kN/m) Y-Dir
	X-Dir	Y-dir	X-Dir	Y-dir			
STORY7	1	1	2	2	1000	40137.85	77697.66858
STORY6	1	2	2	2	1000	49140.35	93981.14976
STORY5	1	2	2	2	1000	62194.45	117593.0596
STORY4	1	2	2	2	1000	82971.04	155173.1898
STORY3	2	3	2	4	1000	121433.9	224743.8314
STORY2	3	5	4	6	1000	217438.4	398394.1499
STORY1	3	5	4	6	5000	889139.6	1613348.946

4.2. ผลที่ได้จากการวิเคราะห์

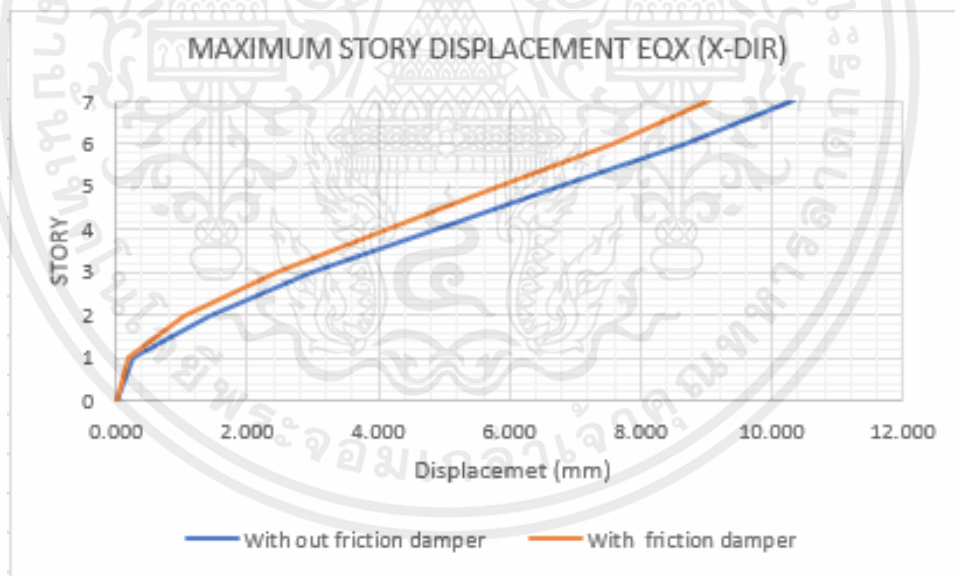
4.2.1. ผลของการเคลื่อนตัว (Story Displacement)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารหลังจากทำการเสริมกำลังด้วย FD ตามที่ทางผู้วิจัยได้คำนวณออกแบบ พบว่าการเคลื่อนในแนวแกน x และแกน y ลดน้อยลง+

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

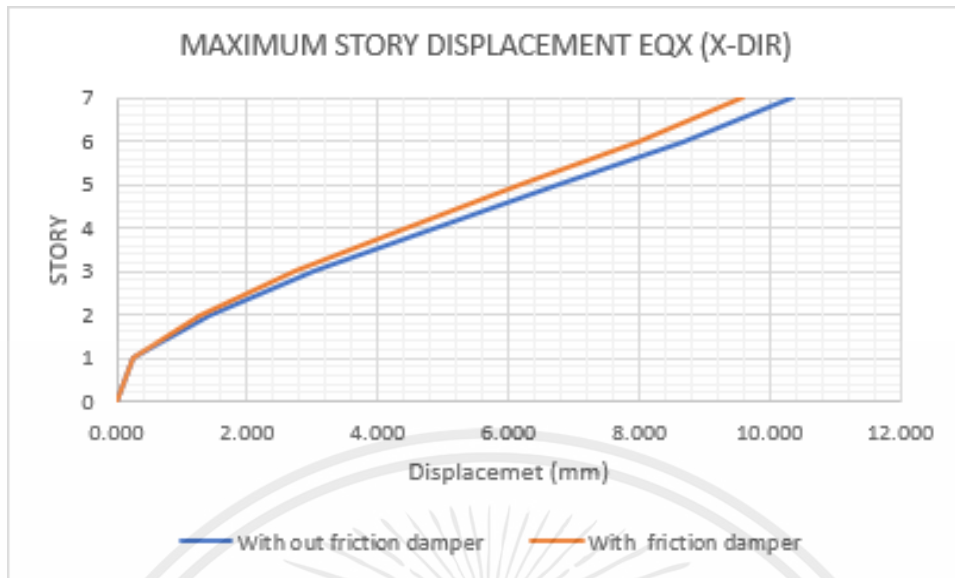


รูปที่ 4.1 Case1 เสริม Friction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบนอกของอาคาร โครงสร้างเหล็ก

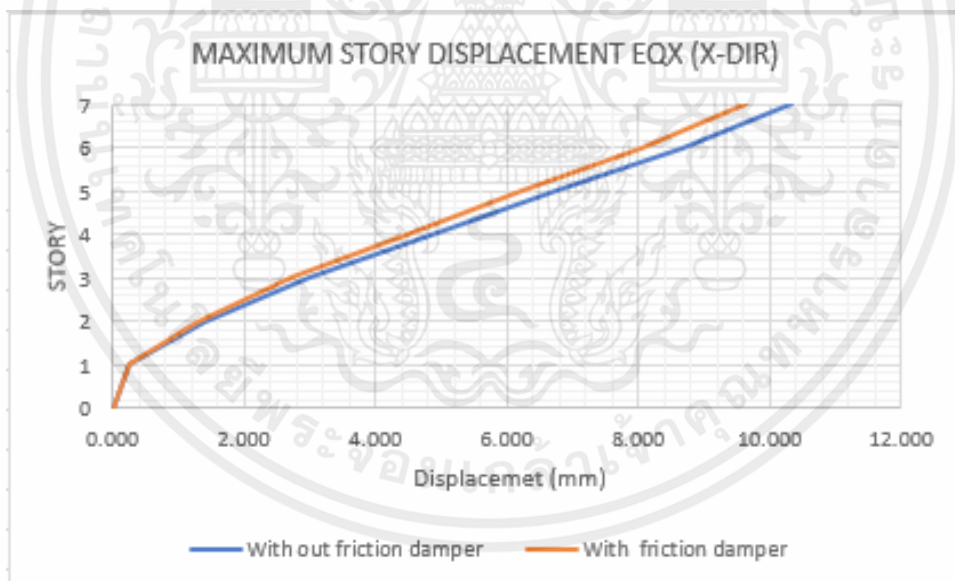


รูปที่ 4.2 Case2 เสริม Friction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบภายในของอาคาร โครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

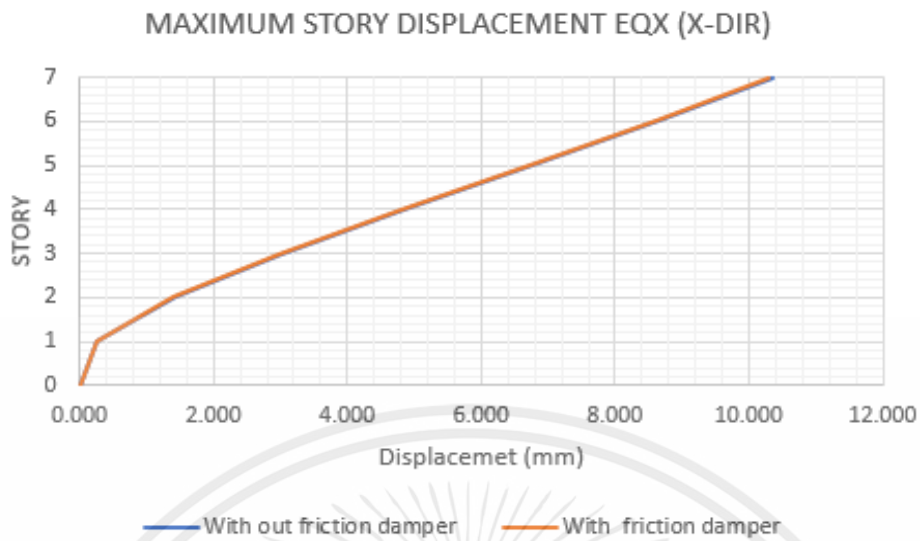


รูปที่ 4.3 Case3 เสริม Friction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมบริเวณ shear wall ของอาคารโครงสร้างเหล็ก

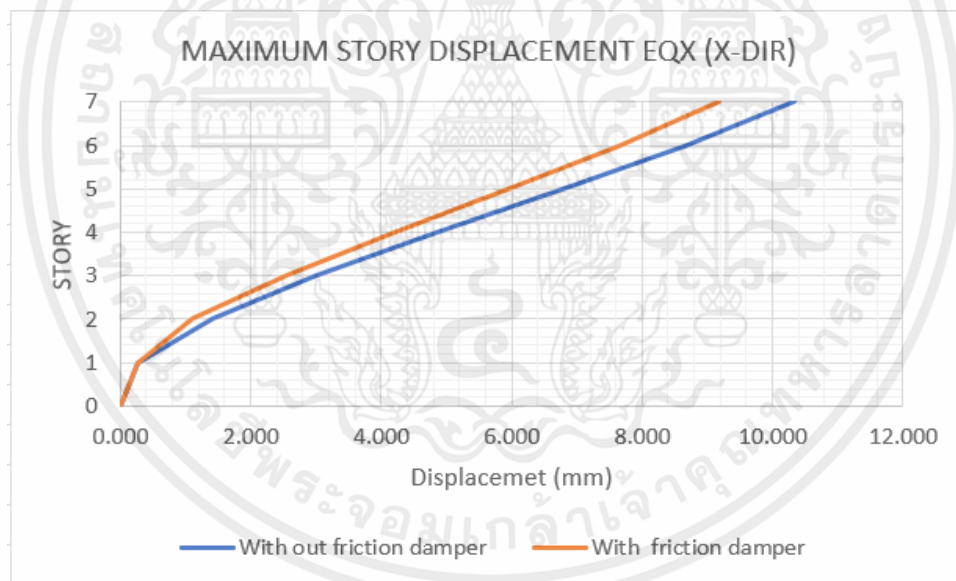


รูปที่ 4.4 Case4 เสริม Friction dampers เฉพาะ แกน X โดยเสริมบริเวณ shear wall ของอาคารโครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

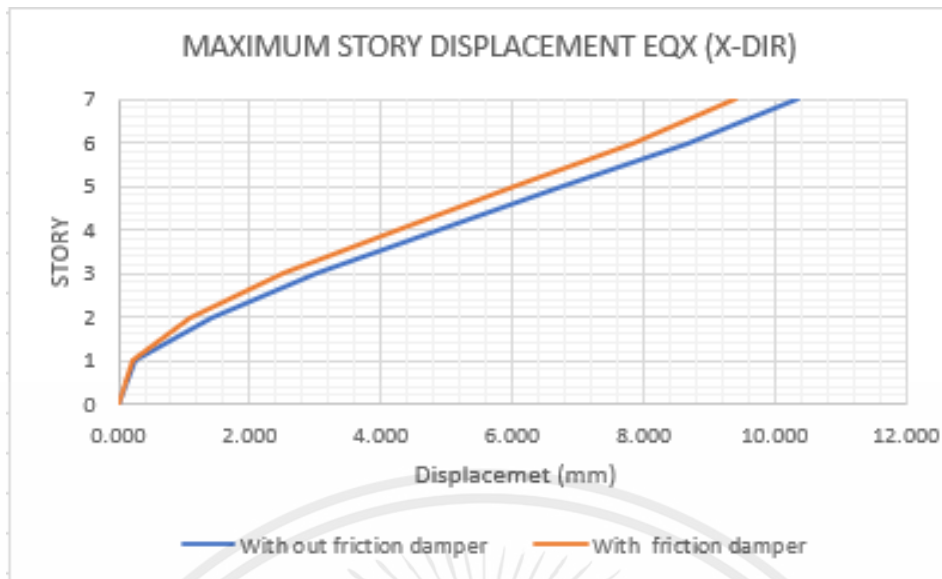


รูปที่ 4.5 Case5 เสริม Friction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมบริเวณ shear wall ของอาคารโครงสร้างเหล็ก

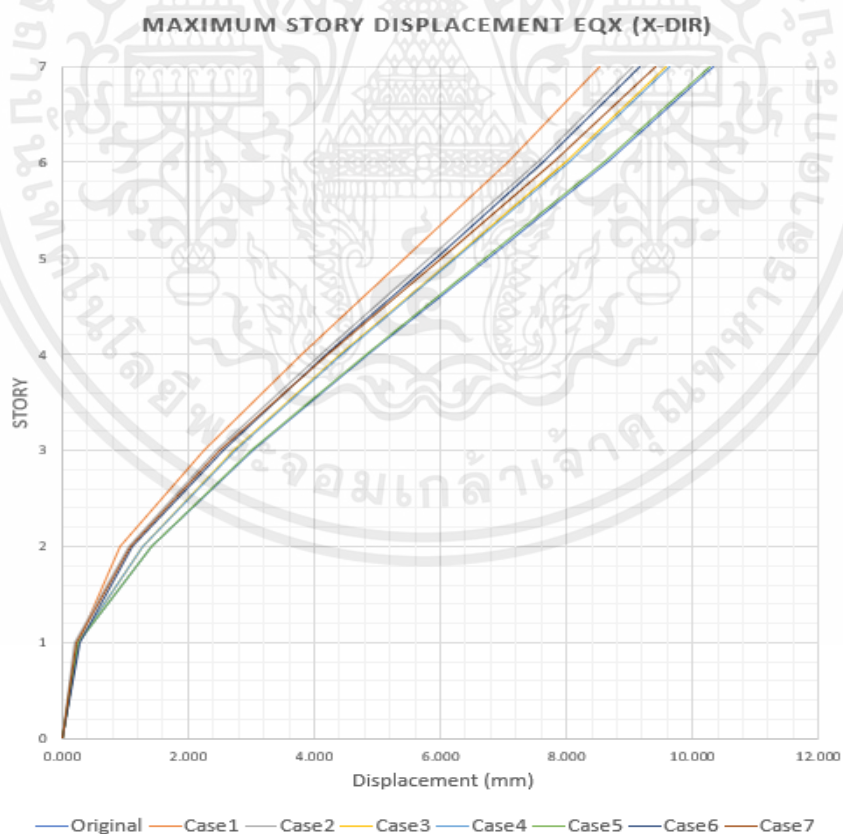


รูปที่ 4.6 Case6 เสริม Friction dampers เฉพาะแกน X โดยเสริมรอบนอกของอาคารโครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

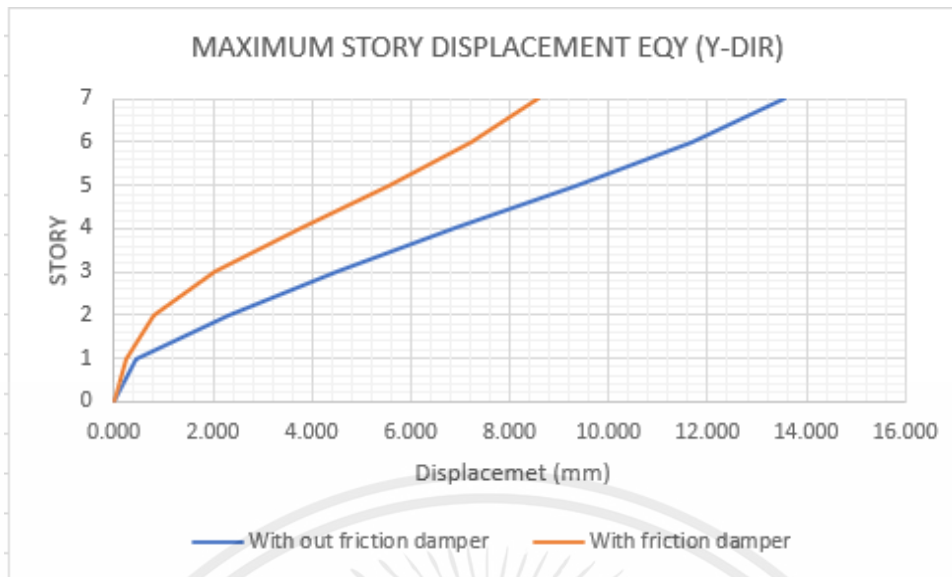


รูปที่ 4.7 Case7 เสริม Friction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมรอบนอกของอาคาร โครงสร้างเหล็ก

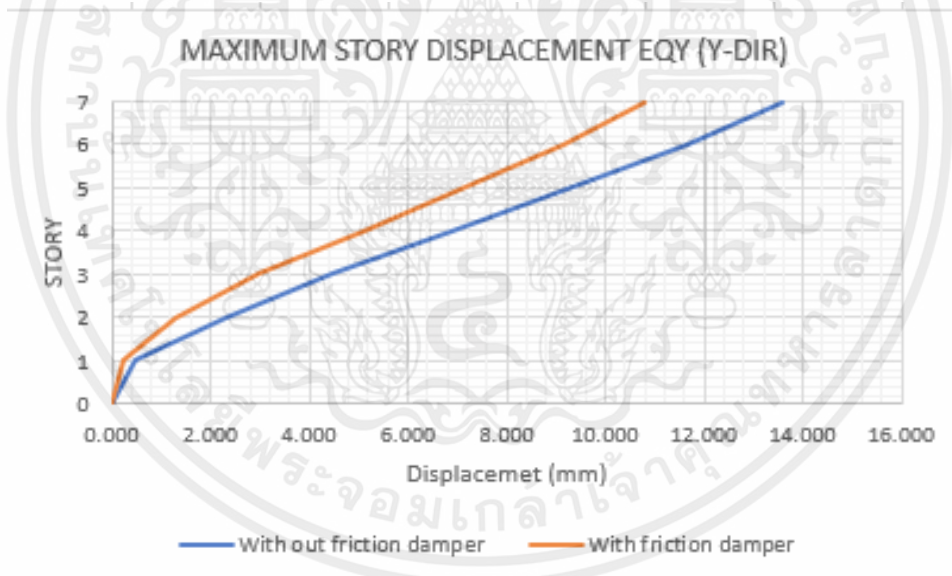


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและการเคลื่อนตัวสูงสุดในแกน x ของอาคารหลังเสริมกำลังทั้ง 7 กรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

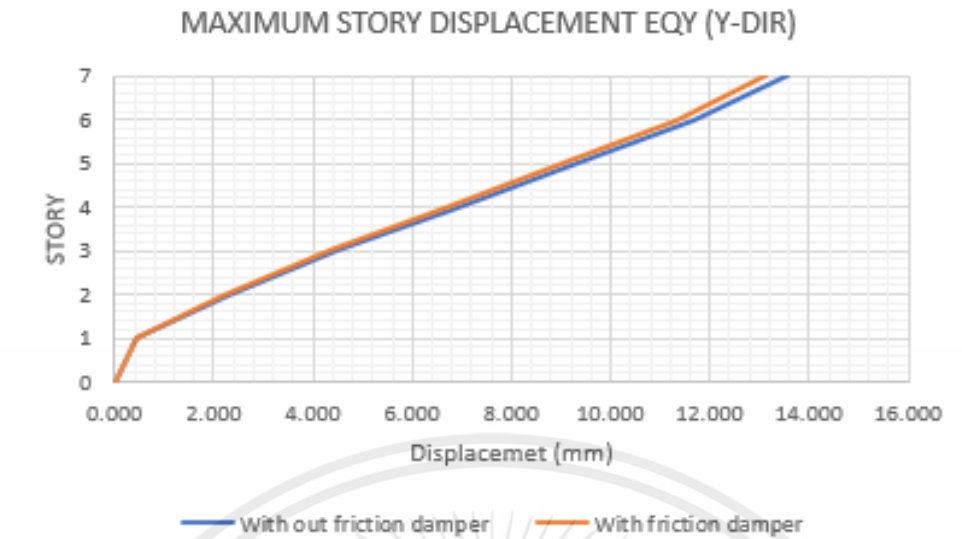


รูปที่ 4.9 Case1 เสริม Friction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบนอกของอาคาร
โครงสร้างเหล็ก

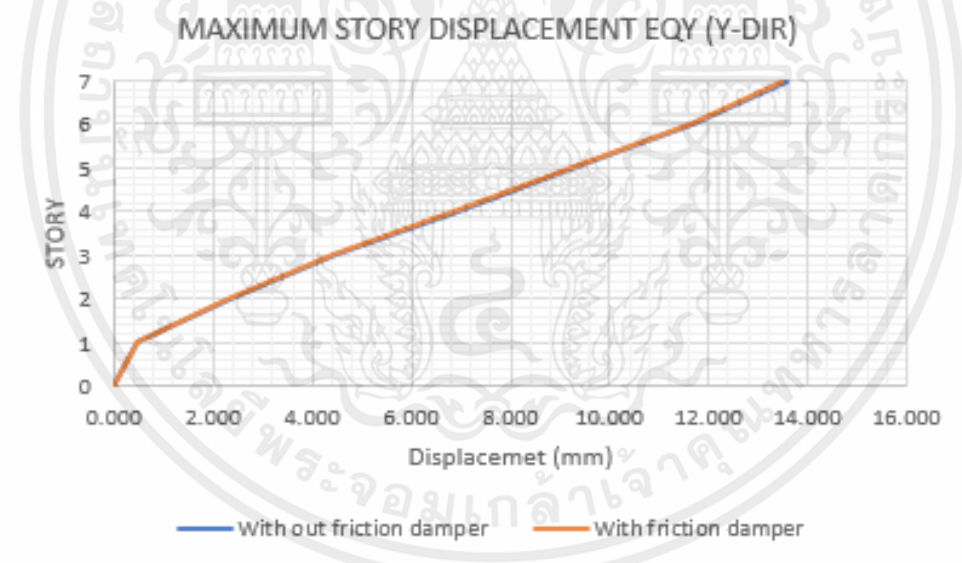


รูปที่ 4.10 Case2 เสริม Friction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบภายในของ
อาคารโครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

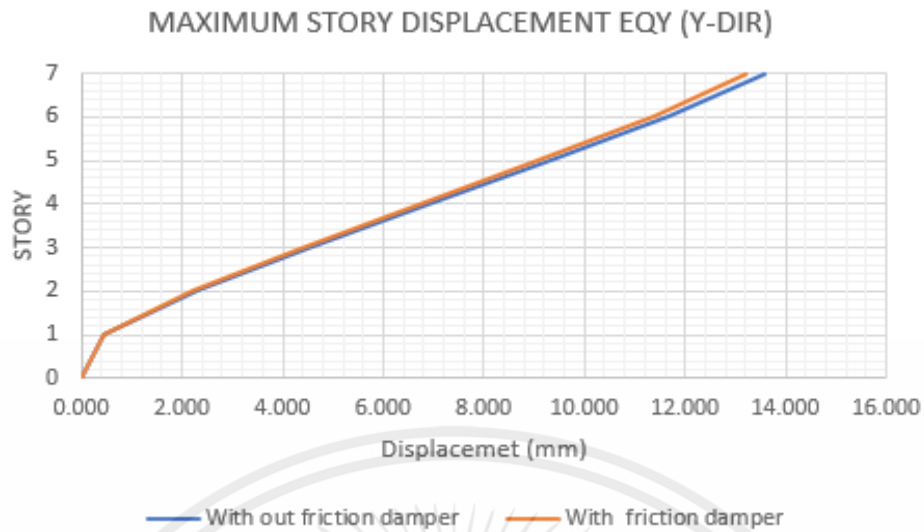


รูปที่ 4.11 Case3 เสริม Friction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมบริเวณ shear wall ของอาคารโครงสร้างเหล็ก

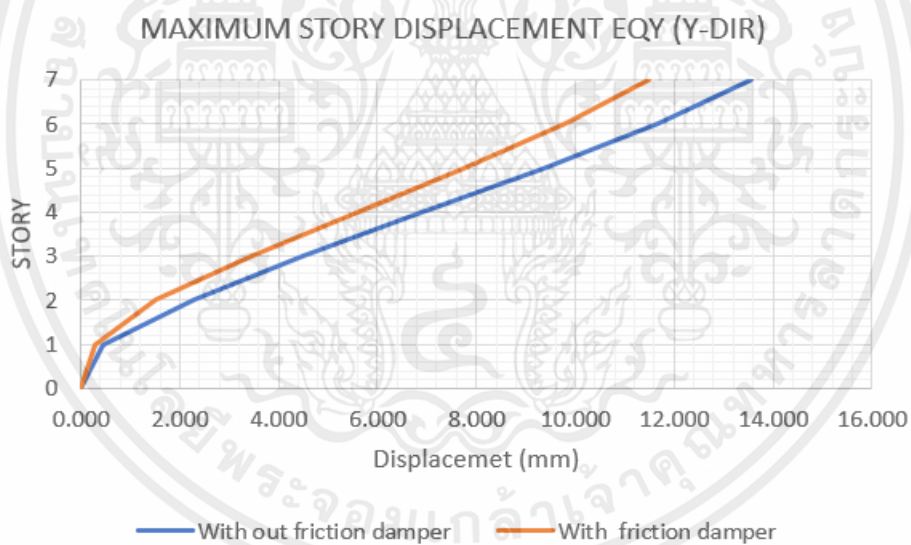


รูปที่ 4.12 Case4 เสริม Friction dampers เฉพาะ แกน X โดยเสริมบริเวณ shear wall ของอาคารโครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

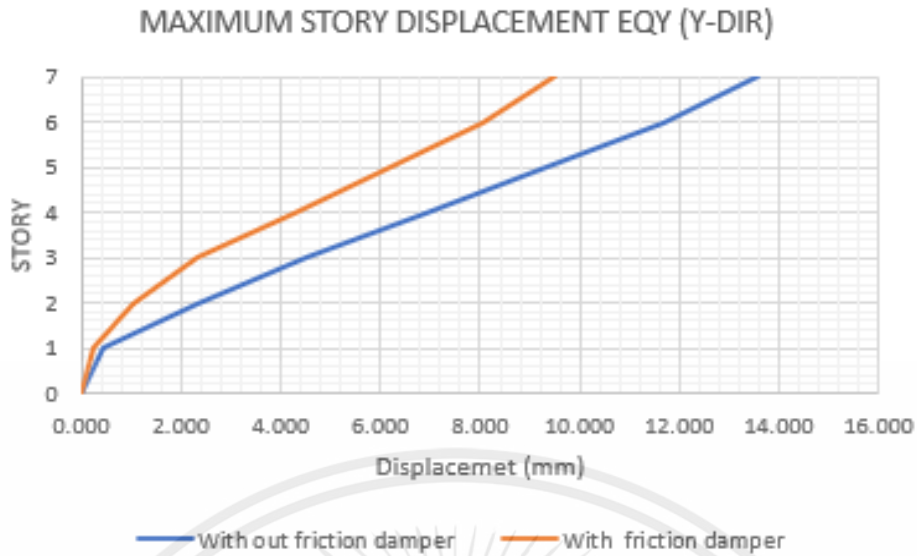


รูปที่ 4.13 Case5 เสริม Friction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมบริเวณ shear wall ของอาคารโครงสร้างเหล็ก

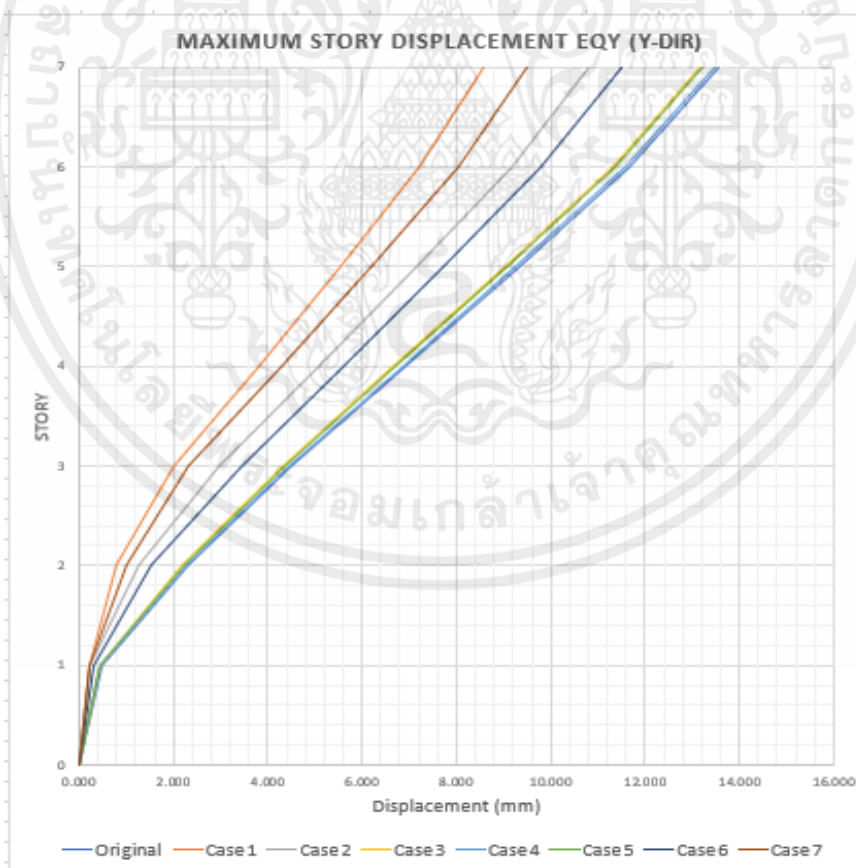


รูปที่ 4.14 Case6 เสริม Friction dampers เฉพาะแกน X โดยเสริมรอบนอกของอาคาร โครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 Case7 เสริม Friction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมรอบนอกของอาคาร โครงสร้างเหล็ก

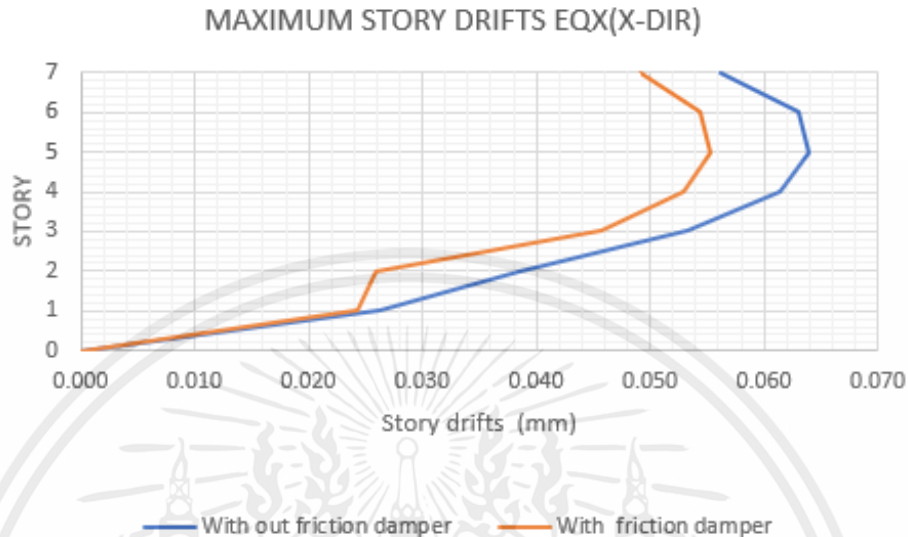


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและการเคลื่อนตัวสูงสุดในแกน Y ของอาคารหลังเสริมกำลังทั้ง 7 กรณี

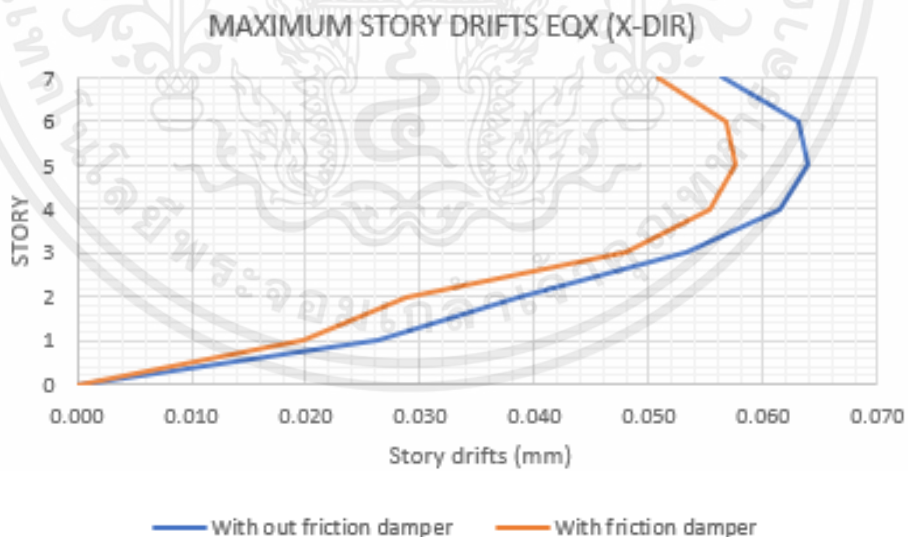
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. ผลของอัตราส่วนของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift Ratio)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารหลังจากทำการเสริมกำลังด้วย FD พบว่าอัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ลดลงจากการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ก่อนทำการเสริมกำลัง

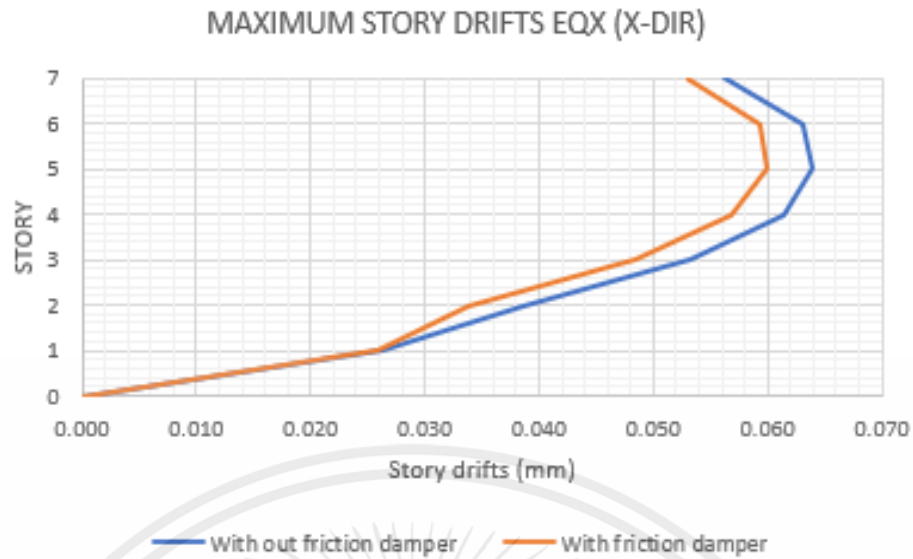


รูปที่ 4.17 Case1 เสริม Friction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบนอกของอาคาร โครงสร้างเหล็ก

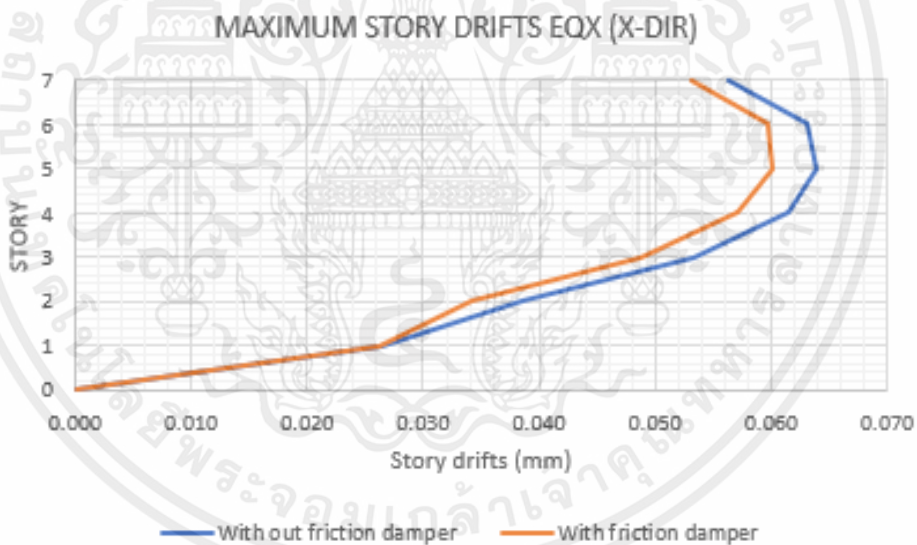


รูปที่ 4.18 Case2 เสริม Friction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบภายในของ อาคารโครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

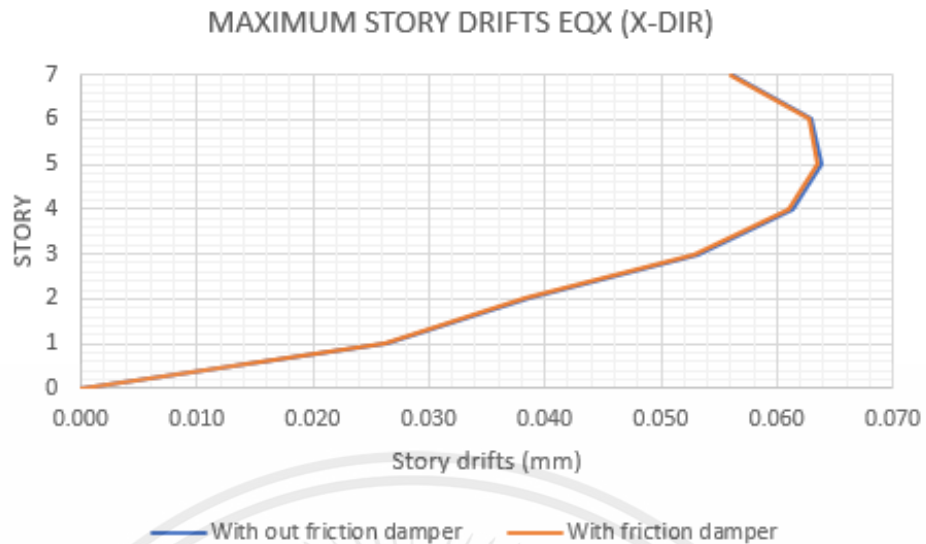


รูปที่ 4.19 Case3 เสริม Friction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมบริเวณ shear wall ของอาคารโครงสร้างเหล็ก

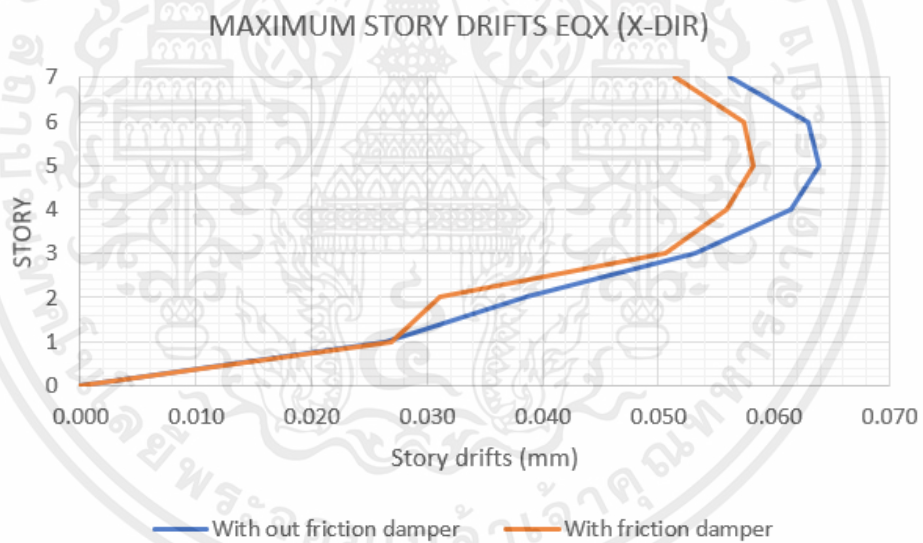


รูปที่ 4.20 Case4 เสริม Friction dampers เฉพาะ แกน X โดยเสริมบริเวณ shear wall ของอาคารโครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

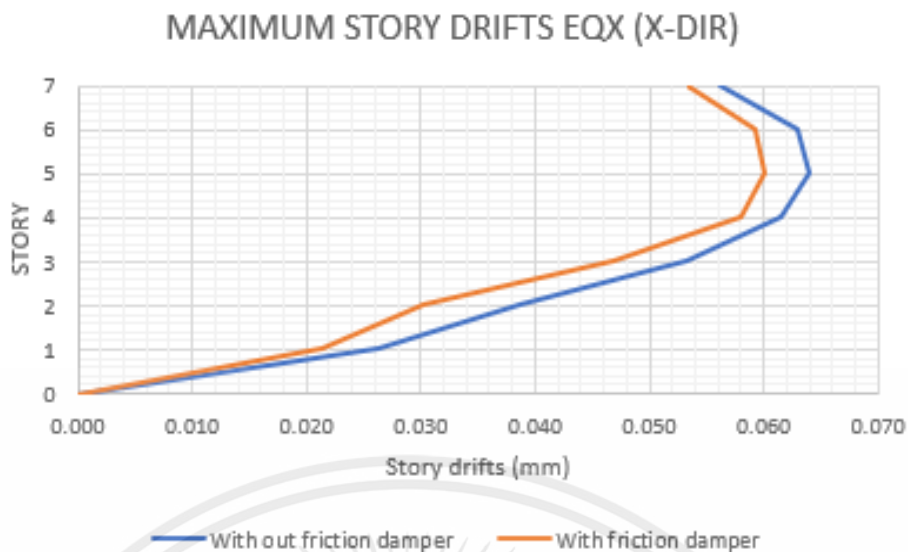


รูปที่ 4.21 Case5 เสริม Friction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมบริเวณ shear wall ของอาคารโครงสร้างเหล็ก

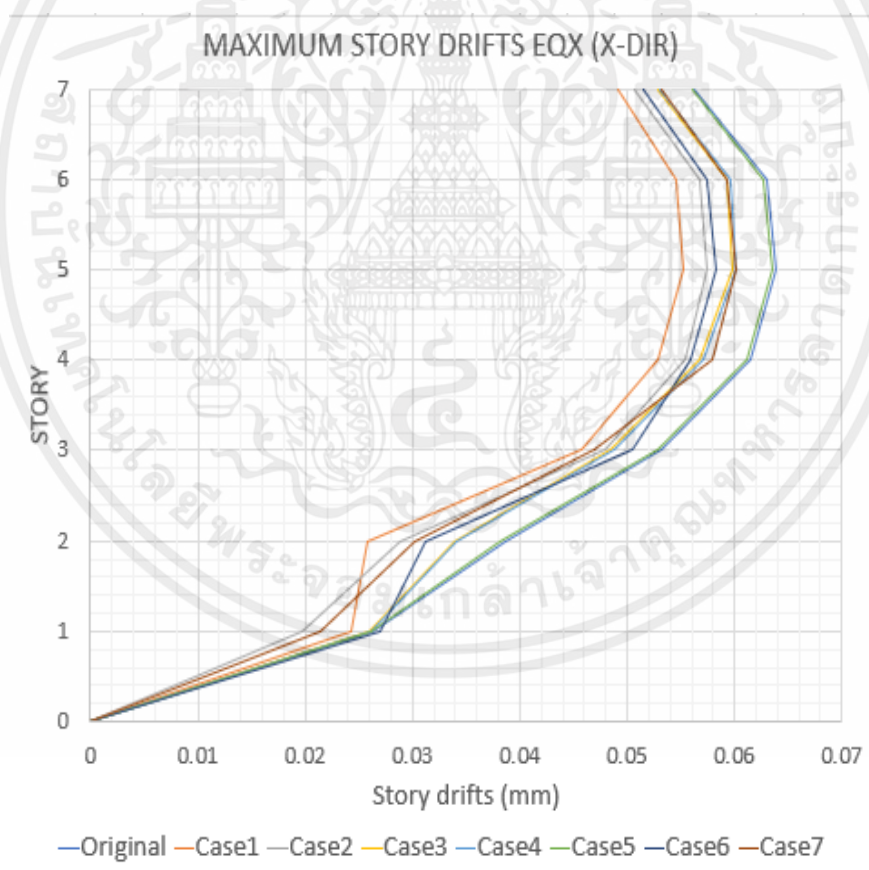


รูปที่ 4.22 Case6 เสริม Friction dampers เฉพาะแกน X โดยเสริมรอบนอกของอาคาร โครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

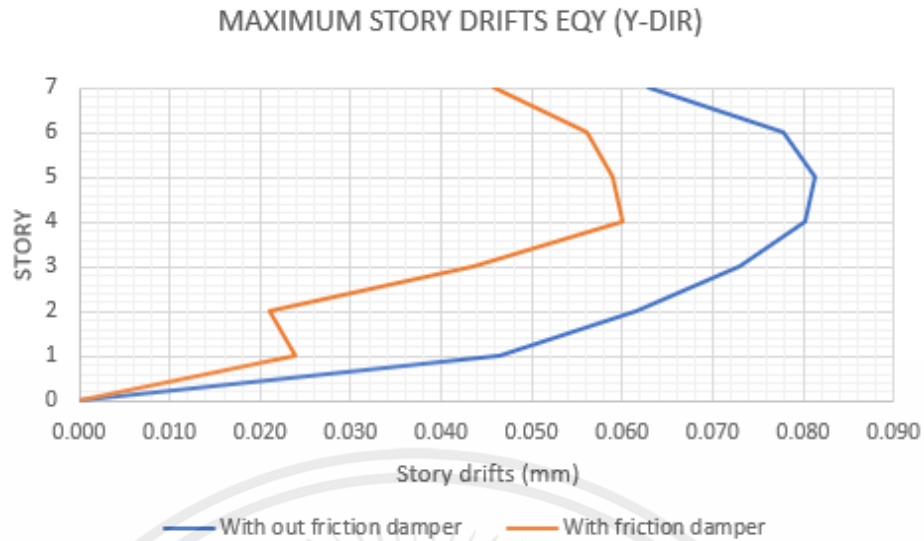


รูปที่ 4.23 Case7 เสริม Friction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมรอบนอกของอาคาร โครงสร้างเหล็ก

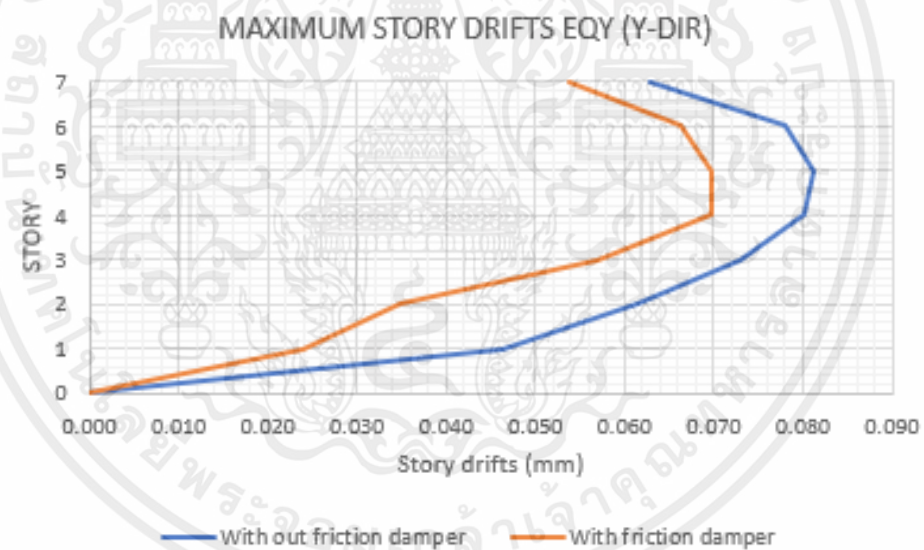


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและอัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นในแกน X หลังเสริมกำลังทั้ง 7 กรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

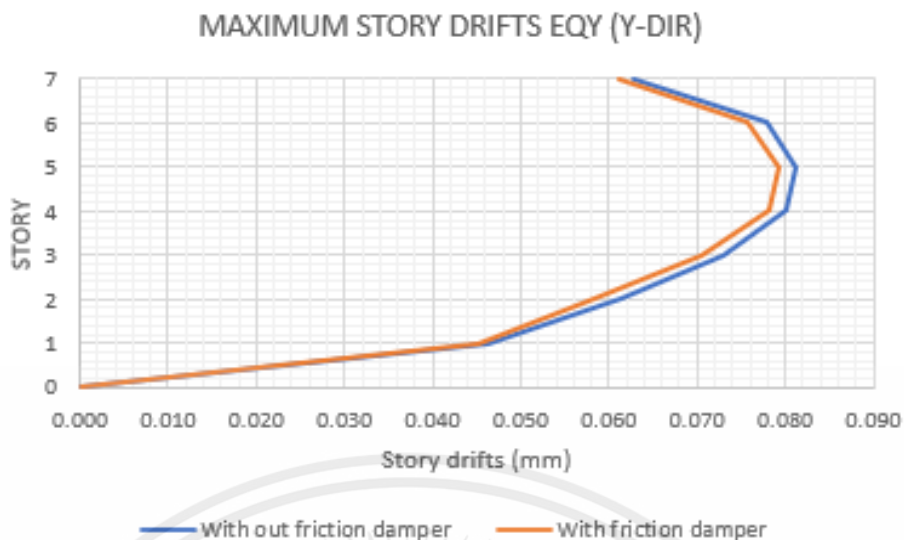


รูปที่ 4.25 Case1 เสริม Friction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบนอกของอาคาร โครงสร้างเหล็ก

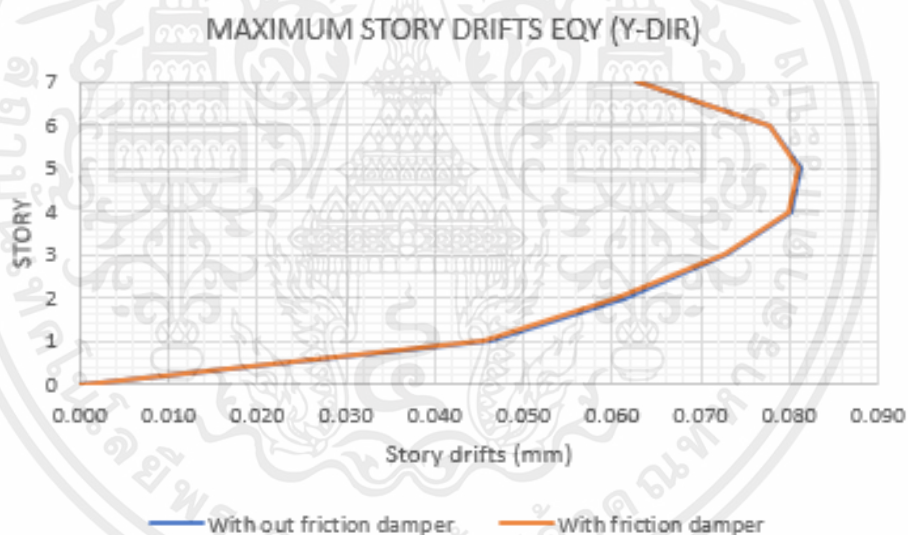


รูปที่ 4.26 Case2 เสริม Friction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมรอบภายในของอาคารโครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

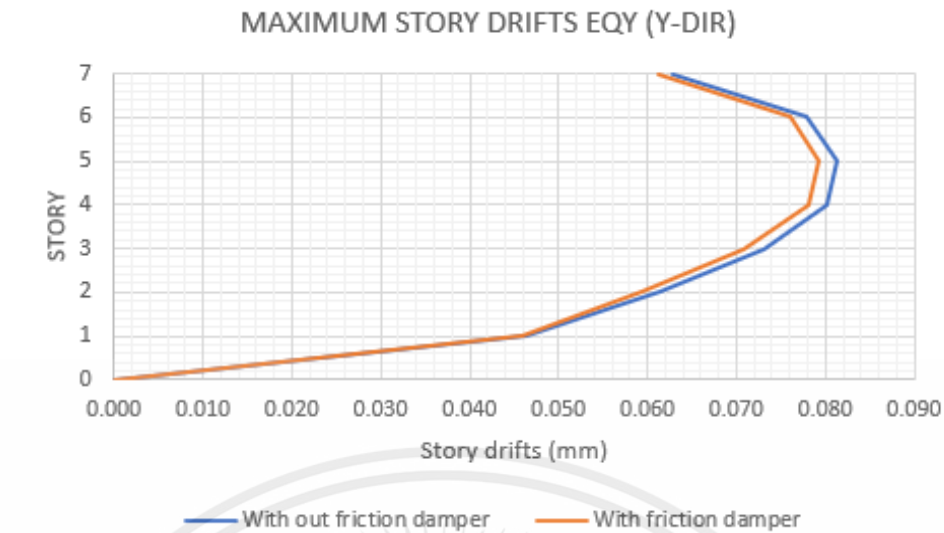


รูปที่ 4.27 Case3 เสริม Friction dampers ทั้งแกน X และ Y โดยเสริมบริเวณ shear wall ของอาคารโครงสร้างเหล็ก

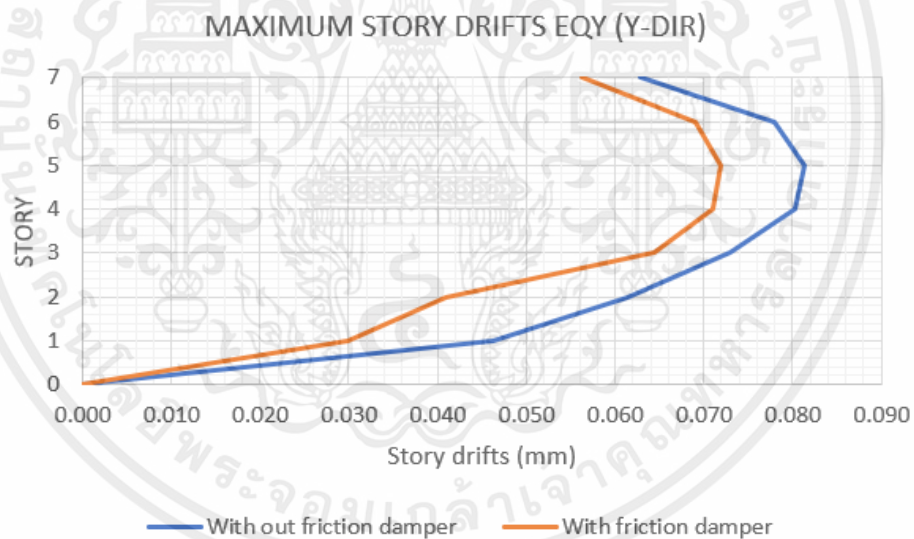


รูปที่ 4.28 Case4 เสริม Friction dampers เฉพาะ แกน X โดยเสริมบริเวณ shear wall ของอาคารโครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

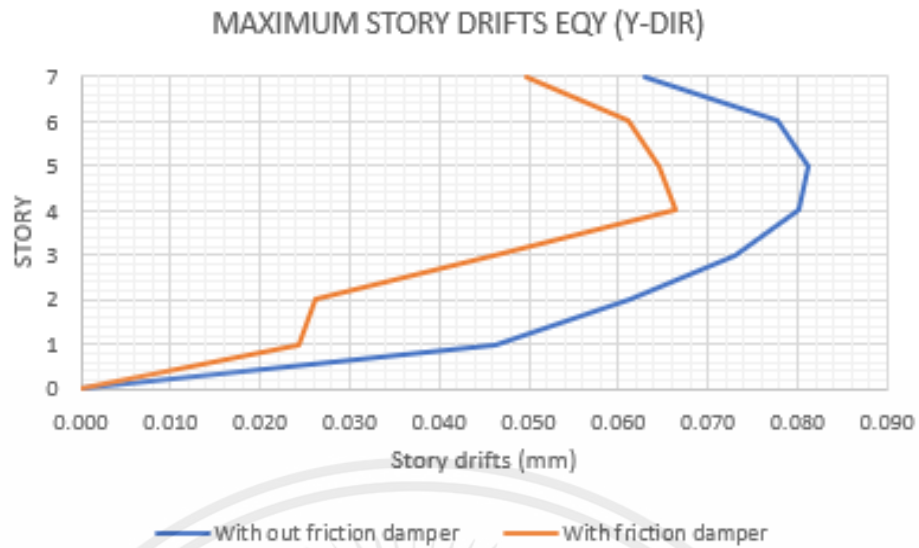


รูปที่ 4.29 Case5 เสริม Friction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมบริเวณ shear wall ของอาคารโครงสร้างเหล็ก

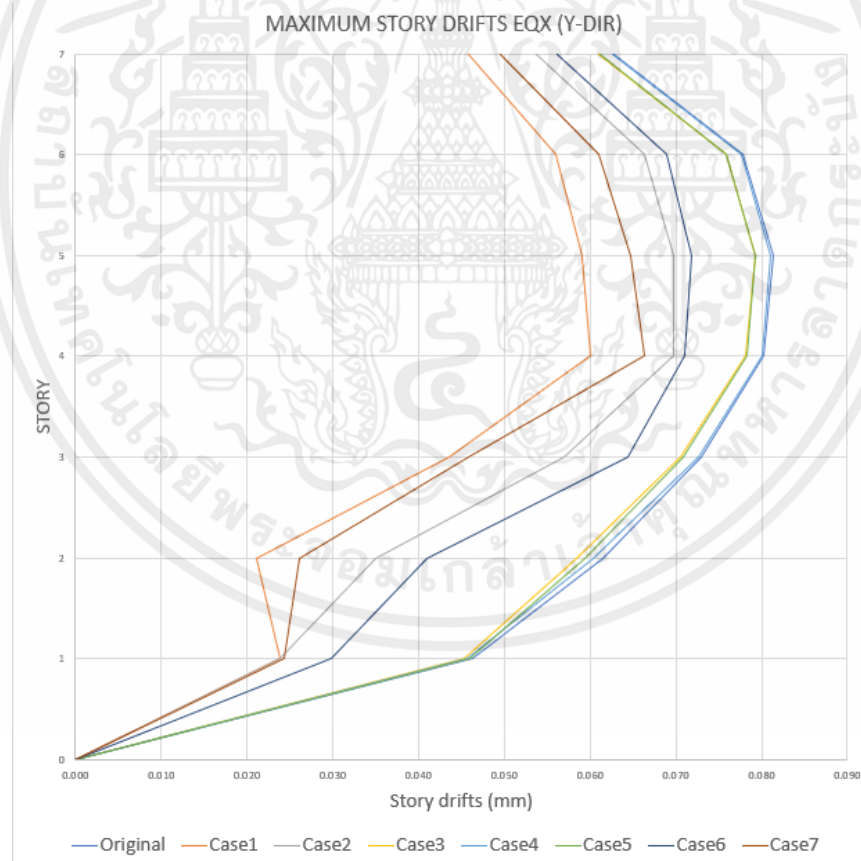


รูปที่ 4.30 Case6 เสริม Friction dampers เฉพาะแกน X โดยเสริมรอบนอกของอาคาร โครงสร้างเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 Case7 เสริม Friction dampers เฉพาะแกน Y โดยเสริมรอบนอกของอาคาร โครงสร้างเหล็ก



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและอัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นในแกน Y หลังเสริมกำลังทั้ง 7 กรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาการติดตั้งตัวหน่วงแรงเสียดทาน (friction damper) ทั้ง 7 กรณี ที่ทำการศึกษาคำให้การเคลื่อนตัวของแต่ละชั้น (Story displacement) ของอาคาร และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift Ratio) ของโครงสร้างอาคารเหล็กกลดลง ซึ่งส่งผลให้ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวของอาคารเหล็กกลดลง

2. จากการศึกษาพบว่า การติดตั้งตัวหน่วงแรงเสียดทาน (friction damper) บริเวณรอบนอกอาคาร ในกรณีที่ 1 เป็นตำแหน่งที่เหมาะสมกับการติดตั้งสำหรับโครงสร้างอาคารเหล็กมากที่สุด เนื่องจากการติดตั้งในรูปแบบกรณีดังกล่าวทำให้การเคลื่อนตัวของแต่ละชั้น (Story displacement) ของอาคาร และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift Ratio) มีค่าลดลงมากที่สุดทั้งในแนวแกน x และ แกน y

3. จากการศึกษาพบว่า การติดตั้งตัวหน่วงแรงเสียดทาน (friction damper) บริเวณใกล้กำแพงรับแรงเฉือน (shearwall) ในกรณีที่ 3, 4 และ 5 สำหรับโครงสร้างอาคารเหล็ก ส่งผลต่อการลดลงของ การเคลื่อนตัวของแต่ละชั้น (Story displacement) ของอาคาร และการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift Ratio) น้อยเมื่อเทียบกับการติดตั้งบริเวณอื่นๆ

เอกสารอ้างอิงข้อมูล

- 1.) Building code requirements for structural concrete (ACI318-14 and ACI318-19). American Concrete Institute.
- 2.) มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย (2564),
- 3.) รายงาน วิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว วิศวกรโครงสร้าง ผศ.ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชวี
- 4.) Using Pall Friction Dampers for Seismic Retrofit of a 4-Story Steel Building in Iran
- 5.) Toru Takeuchi. , BUCKLING-RESTRAINED BRACE : HISTORY, DESIGN and APPLICATIONS , 2015
- 6.) T. Takeuchi and A. Wada : Buckling-Restrained Braces and Applications , 2017.
- 7.) Kazuhiro FUJISHITA , Fatih Sutcu , Toru Takeuchi , Ryota Matsui : Seismic retrofit design method for RC buildings using buckling-restrained braces and steel frames , 2015
- 8.) คู่มือการก่อสร้างอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย
- 9.) <https://www.structuralguide.com/seismic-dampers/>
- 10.) <https://www.irjet.net/archives/V4/i3/IRJET-V4I3603.pdf>
- 11.) T. Takeuchi and A. Wada : Buckling-Restrained Braces and Applications , 2017
- 12.) E.Yooprasertchai and P.Warnitchai : SEISMIC RETROFITTING OF LOW-RISE NONDUCTILE REINFORCED CONCRETE BUILDINGS BY BUCKLING-RESTRAINED BRACES , 2008
- 13.) กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย : คู่มือปฏิบัติที่ใช้ในการตรวจสอบ ประเมิน และเสริมความมั่นคงแข็งแรงให้กับโครงสร้างของอาคารเพื่อให้สามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว , 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิงรูปภาพ

รูปที่ 2.1 การแบ่งโซนพื้นที่แอ่งกรุงเทพเพื่อการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

(มยผ.1303-57,กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, 2557) [1]

http://subsites.dpt.go.th/edocument/images/pdf/sd_work/64/standard_1301-1302-61.pdf

หน้าที่ 27

[2] Panumas Saingam , Ryota Matsuzaki , Koki Nishikawa , Ben Sitler , Yuki Terazawa , Toru Takeuchi, **Experimental dynamic characterization of friction brace dampers and application to the seismic retrofit of RC buildings** p.11

รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูป (force-deformation curve) [3]

[3] Panumas Saingam , Ryota Matsuzaki , Koki Nishikawa , Ben Sitler , Yuki Terazawa , Toru Takeuchi, **Experimental dynamic characterization of friction brace dampers and application to the seismic retrofit of RC buildings.** p.7

[4] Sutcu F, Takeuchi T, Matsui R. **Seismic Retrofitting Design Method of Existing RC Buildings with Buckling Restrained Braces.** J Constr Steel Res 2014;101:304–13.

รูปที่ 2.5 Conversion of SDOF model [6]] Panumas Saingam , Ryota Matsuzaki , Koki Nishikawa , Ben Sitler , Yuki Terazawa , Toru Takeuchi, **Experimental dynamic characterization of friction brace dampers and application to the seismic retrofit of RC buildings.** P.9

รูปที่ 2.6 Max Story Drift Angle [7] อ้างอิงจากงานวิจัยนี้

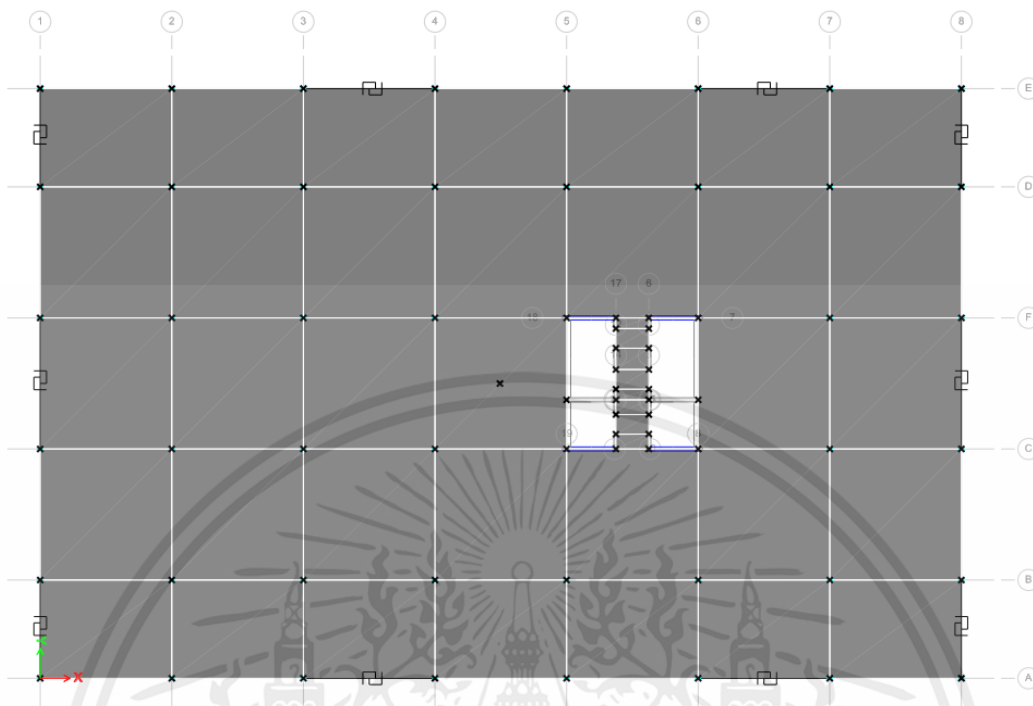
รูปที่ 2.7 Residual Story Drift Angle [8] อ้างอิงจากงานวิจัยนี้



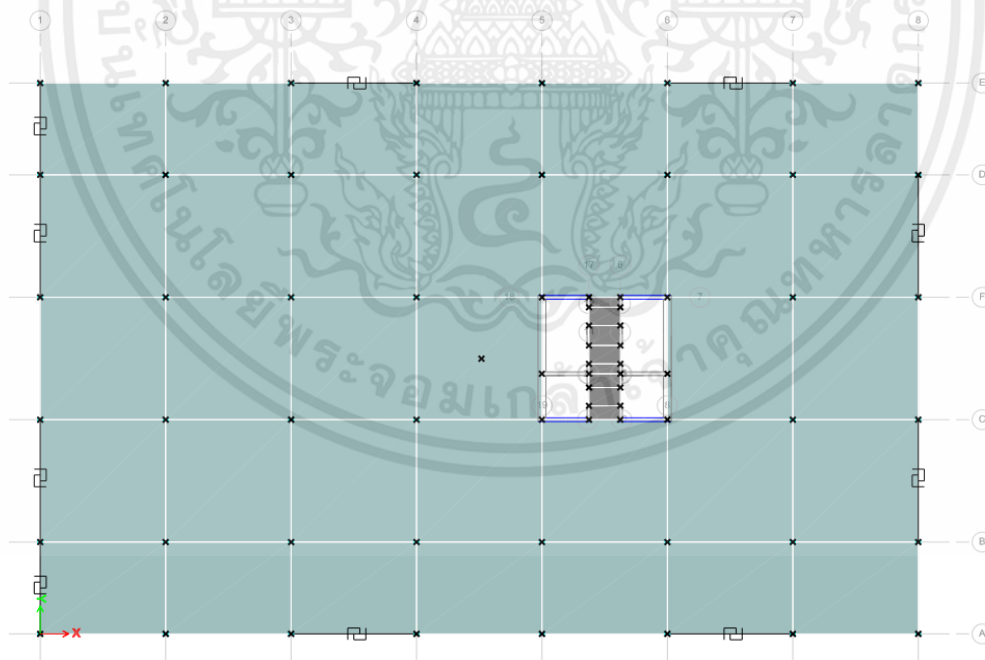
ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าตัดอาคารจำลองขนาดสูงปานกลาง

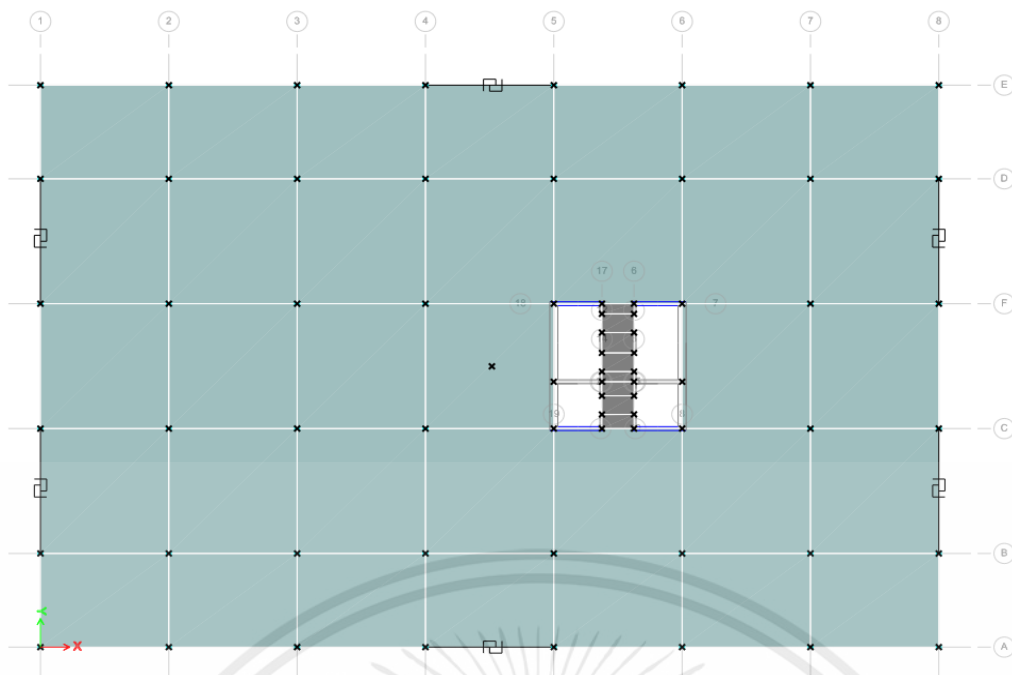


รูปที่ ก-1 หน้าตัดอาคารจำลองขนาดสูงปานกลางชั้นที่ 1

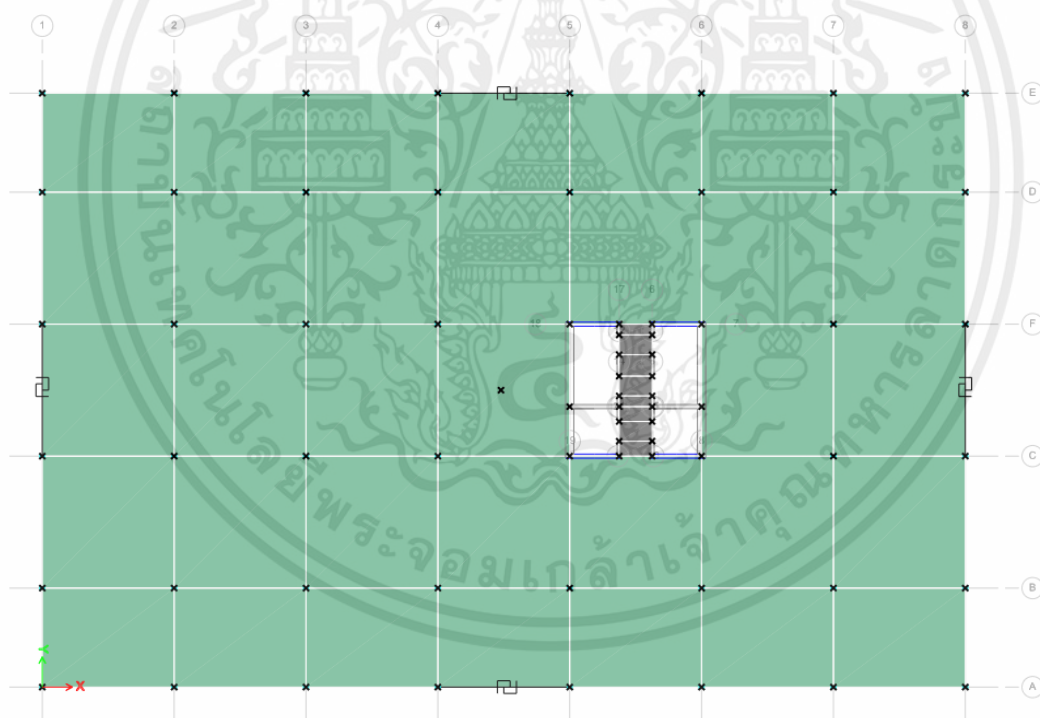


รูปที่ ก-1 หน้าตัดอาคารจำลองขนาดสูงปานกลางชั้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

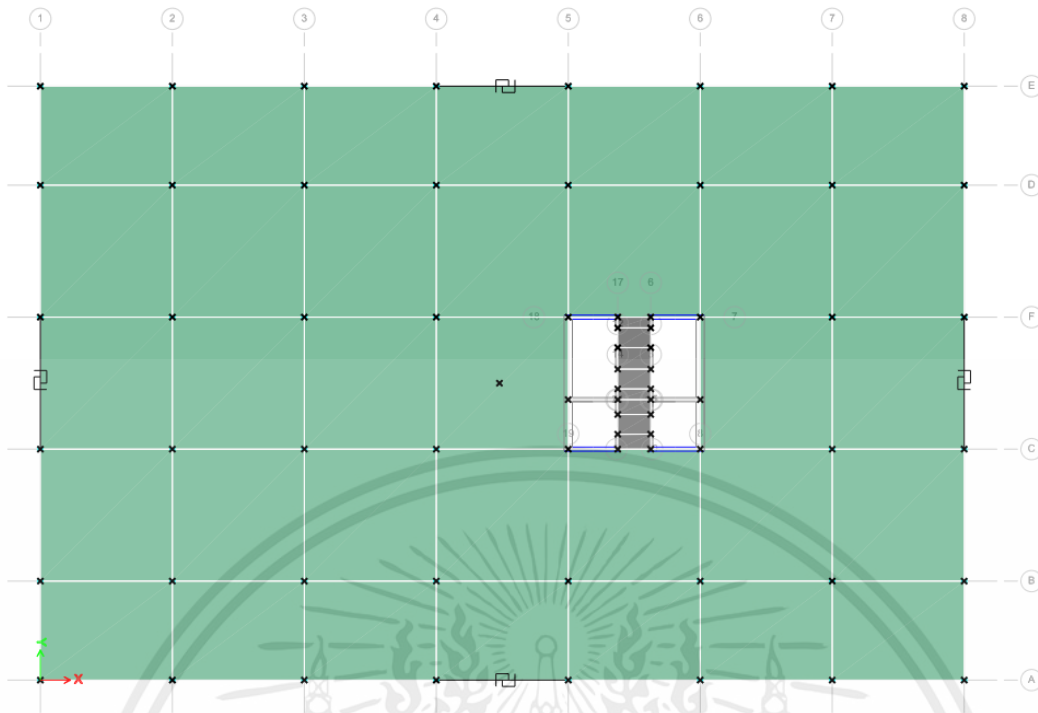


รูปที่ ก-1 หน้าตัดอาคารจำลองขนาดสูงปานกลางชั้นที่ 3

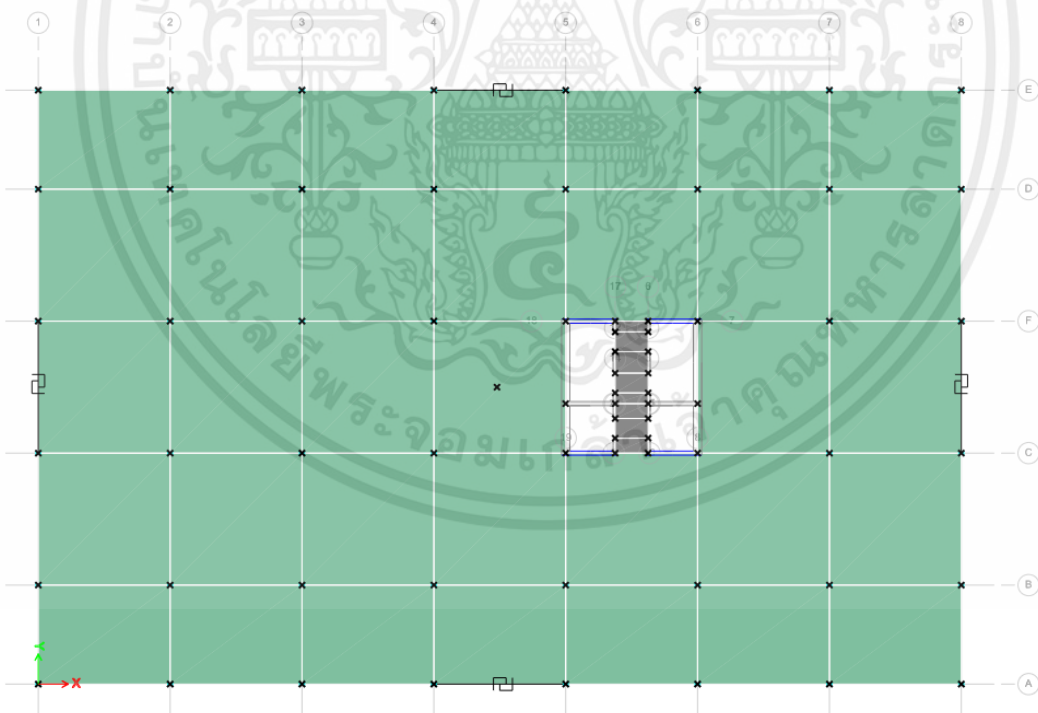


รูปที่ ก-1 หน้าตัดอาคารจำลองขนาดสูงปานกลางชั้นที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

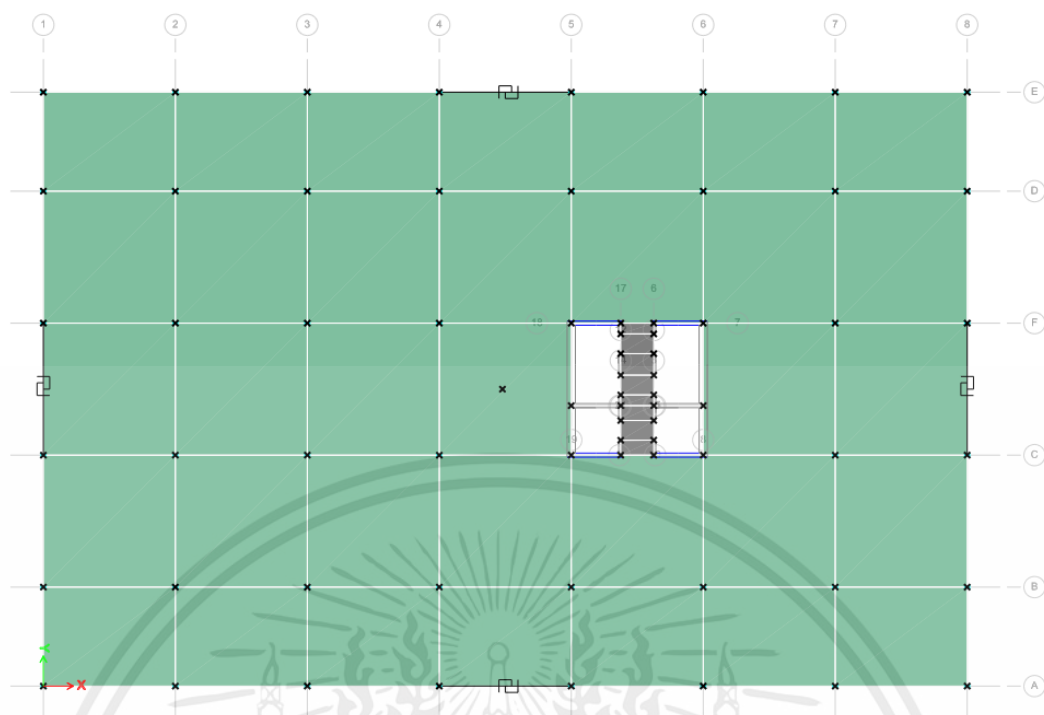


รูปที่ ก-1 หน้าตัดอาคารจำลองขนาดสูงปานกลางชั้นที่ 5



รูปที่ ก-1 หน้าตัดอาคารจำลองขนาดสูงปานกลางชั้นที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-1 หน้าตัดอาคารจำลองขนาดสูงปานกลางชั้นที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	กฤษฎา ปั้นทิม
วัน เดือน ปี เกิด	25 พฤศจิกายน 2542
สถานที่เกิด	สุโขทัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	120/2 ม.1 ต.ดงเตี้ย อ.กงไกรลาศ จ.สุโขทัย 64170
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ชื่อ-นามสกุล	เขมเขตต์ อินทร์สุวรรณ
วัน เดือน ปี เกิด	13 กรกฎาคม 2541
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
ที่อยู่ปัจจุบัน	35/3 ม.7 ต.หน้าสตน อ.หัวไทร จ.นครศรีธรรมราช 80170
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ชื่อ-นามสกุล	รัชชานนท์ ปาเจริญ
วัน เดือน ปี เกิด	27 มิถุนายน 2541
สถานที่เกิด	ลำปาง
ที่อยู่ปัจจุบัน	109/1 ต.หัวเวียง อ.เมือง จ.ลำปาง 52000
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้